ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОЗРѢНІЕ

1905 г. ТОМЪ 6 No. 6

Испареніе и осѣданіе

П. А. Зилова.

1. Законы, которымъ подчиняются испареніе жидкости и осѣданіе пара давно уже установлены, и цѣль настоящей замѣтки— обратить вниманіе лишь на нѣкоторыя подробности этихъ процессовъ.

Представимъ себѣ замкнутое пространство, занятое отчасти жидкостью, отчасти ея паромъ. По представленію Клаузіуса жидкость непрерывно испаряется, а паръ непрерывно осѣдаетъ, при чемъ вслѣдствіе перваго упругость пара увеличивается, а вслѣдствіе второго уменьшается. Если одновременно масса испаряющейся жидкости и масса осѣдающаго пара одинаковы, то жидкость и паръ находятся въ равновѣсіи; паръ называется *насыщеннымъ*. Если упругость пара меньше, то паръ *ненасыщенъ* (перегрѣтъ) и перевѣшиваетъ первый процессъ; если упругость пара больше, то паръ *пересыщенъ* и перевѣшиваетъ второй процессъ.

Испареніе состоитъ въ томъ, что жидкость выбрасываетъ изъ себя частицы; это явленіе мы припишемъ силѣ, дѣйствую-

щей внутри жидкости, и назовемъ ее *упругостью испаренія* данной жидкости. Если бы упругость испаренія дѣйствовала одна, то жидкость, какова бы ни была ея масса, вся испарилась бы; но испареніе жидкости происходитъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ больше упругость находящагося надъ нею пара; испареніе совершенно прекращается, когда надъ жидкостью находится насыщенный паръ. Послѣ этого ясно, что упругость находящагося надъ жидкостью пара противодѣйствуетъ упругости испаренія, слѣд. это двѣ прямо противоположныя силы; упругость насыщеннаго пара уравновѣшиваетъ упругость испаренія жидкости; слѣдовательно, *упругость насыщенныхъ паровъ измѣряетъ упругость испаренія жидкости при той же температурѣ*.

Упругость насыщеннаго пара одна изъ наиболѣе изученныхъ величинъ; мы знаемъ, какъ она измѣняется при различныхъ обстоятельствахъ; но упругость испаренія жидкости всегда равна упругости своихъ насыщенныхъ паровъ; слѣдовательно, мы можемъ формулировать цѣлый рядъ положеній относительно упругости испаренія.

Упругость испаренія жидкости прежде всего зависитъ отъ ея природы; при однихъ и тѣхъ же условіяхъ жидкость, обладающая большею упругостью испаренія, испаряется быстрѣе, чѣмъ жидкость, обладающая меньшею упругостью испаренія. Упругость испаренія жидкости возростаетъ съ температурою и уменьшается съ раствореніемъ въ ней какого-нибудь твердаго тѣла; упругость испаренія раствора тѣмъ меньше, чѣмъ больше его концентрація. Наконецъ, упругость испаренія жидкости зависитъ отъ формы ея свободной поверхности; если упругость испаренія жидкости, ограниченной плоскостью, назовемъ нормальною (равна упругости насыщенныхъ паровъ), то упругость испаренія жидкости, ограниченной выпуклою поверхностью, больше нормальной, а упругость испаренія жидкости, ограниченной вогнутою поверхностью, меньше нормальной.

2. Примѣнимъ такимъ образомъ опредѣленное понятіе упругости испаренія къ объясненію нѣкоторыхъ явленій.

Возьмемъ изогнутую стеклянную трубку съ двумя баллонами a и b на концахъ; въ трубкѣ помѣщается нѣкоторое количество прокипяченой воды и весь воздухъ удаленъ; пусть въ баллонѣ a вода поддерживается при 100°, а въ b — при 0°; тогда въ первомъ баллонѣ водяные пары имѣютъ упругость 76 cm., а въ b—

лишь 0·4 cm.; въ баллонѣ *a* на каждый куб. центиметръ приходится 0·55 mgr. водяного пара, а въ баллонѣ *b* — лишь 0·004 mgr. Паръ изъ обоихъ баллоновъ распространяется по всему прибору, и когда нѣкоторый объемъ пара изъ *a* перемѣстится въ *b*, то такой же объемъ пара изъ *b* перемѣстится въ *a*. Вслѣдствіе этого въ *a* находятся пары ненасыщенные, а въ *b* — пересыщенные; въ баллонѣ *a* вода испаряется, а въ баллонѣ *b* пары осѣдаютъ (изъ каждаго куб. центиметра притекающаго сюда пара осѣдаетъ 0·546 mgr.). Такой процессъ продолжается, понятно, до тѣхъ поръ, пока вся вода не перегонится изъ баллона *a* въ баллонъ *b*, и пока весь нашъ приборъ не наполнится паромъ упругости 0·4 cm. На этомъ основана *перегонка* жидкости.

3. Возьмемъ опять нашъ приборъ и представимъ себѣ, что въ баллонѣ *a* находится чистая вода, а въ *b* какой-нибудь водный растворъ; если приборъ всюду нагрѣтъ до одной температуры, то вода будетъ имѣть бо́льшую упругость испаренія, чѣмъ растворъ; одновременно испаряется воды въ баллонѣ *a* больше, чѣмъ въ баллонѣ *b*; осаждаться же паръ будетъ одинаково, какъ въ томъ, такъ и въ другомъ баллонѣ; вслѣдствіе этого въ баллонѣ *a* вода будетъ все уменьшаться, а въ баллонѣ *b* растворъ будетъ увеличиваться.

Это объясняетъ намъ *гигроскопичность* нѣкоторыхъ веществъ. Если вещество, будучи въ сыромъ воздухѣ, покрывается слоемъ воды, въ которой растворяется, и упругость испаренія этого раствора меньше упругости атмосферныхъ паровъ, то послѣдніе здѣсь осѣдаютъ въ растворѣ; гигроскопическое вещество, какъ говорятъ, *поглощаетъ* водяные пары изъ влажнаго воздуха.

Гигроскопичностью веществъ пользуются для *осушенія* газовъ. Для этого газы пропускаются чрезъ *сушило* — трубку, набитую гигроскопическимъ веществомъ; для осушенія воздуха въ закрытомъ пространствѣ, туда ставятъ чашку съ гигроскопическимъ тѣломъ.

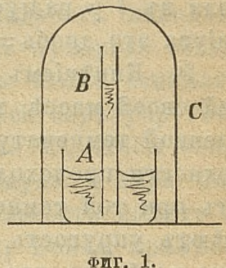
Этимъ же процессомъ объясняется *расплываніе* на воздухѣ нѣкоторыхъ веществъ. Расплываются тѣ вещества, которыя сильно растворяются въ водѣ, и насыщенные растворы которыхъ имѣютъ упругость испаренія меньшую упругости атмосферныхъ паровъ. Когда въ такое вещество попадаетъ малѣйшее количе-

ство воды, въ ней образуется насыщенный растворъ, въ который осѣдаютъ атмосферные пары; растворъ разжижается, вслѣдствіе чего въ немъ растворяется еще новая часть тѣла и т. д. Если же вещество слабо растворяется въ водѣ и, смочившись въ сыромъ воздухѣ, даетъ растворъ, упругость испаренія котораго больше, чѣмъ упругость данныхъ атмосферныхъ паровъ, то такое вещество не расплывается, а наоборотъ высыхаетъ на воздухѣ. Такъ, углекаліевая соль расплывается, а сѣрнокаліевая соль высыхаетъ на воздухѣ.

4. На основаніи теоріи поверхностнаго натяженія лордъ Кельвинъ доказалъ, что при остальныхъ равныхъ условіяхъ упругость испаренія жидкости, ограниченной выпуклою поверхностью, больше, а жидкости, ограниченной вогнутою поверхностью, меньше, чѣмъ упругость испаренія жидкости, ограниченной плоскостью. Это легко видѣть изъ самыхъ общихъ соображеній. Когда жидкость испаряется съ плоской поверхности, то площадь этой поверхности не измѣняется, слѣдовательно не измѣняется и потенціальная энергія, обусловливаемая поверхностнымъ натяженіемъ (и равная произведенію послѣдняго на площадь свободной поверхности жидкости). Если же жидкость ограничена выпуклою поверхностью (напр. дождевая капля), то съ испареніемъ жидкости уменьшается площадь ея поверхности, слѣдовательно, уменьшается и ея потенціальная энергія, обусловливаемая поверхностнымъ натяженіемъ. Но система всегда стремится къ устойчивому равновѣсію, которое соотвѣтствуетъ minimum потенціальной энергіи, и потому въ данномъ случаѣ, повидимому, натяженіе поощряетъ испареніе, какъ бы увеличивая упругость испаренія жидкости. Если, наконецъ, жидкость ограничена вогнутою поверхностью (напр., смачивающая жидкость въ капиллярной трубкѣ или пузырекъ воздуха внутри жидкости), то съ испареніемъ жидкости увеличивается площадь ея поверхности, и слѣдовательно увеличивается потенціальная энергія, обусловливаемая поверхностнымъ натяженіемъ; слѣдовательно въ данномъ случаѣ поверхностное натяженіе задерживаетъ испареніе, какъ бы уменьшая упругость испаренія жидкости.

Нетрудно найти зависимость упругости испаренія жидкости отъ кривизны ея свободной поверхности. Представимъ се-

бѣ, что въ сосудѣ A (фиг. 1) съ жидкостью опущена капиллярная трубка B, въ которой жидкость поднимается на высоту h; все помѣщено подъ колоколъ C, изъ котораго удаленъ воздухъ и который наполняется насыщеннымъ паромъ; какъ въ сосудѣ A, такъ и въ трубкѣ B жидкость и паръ находятся въ равновѣсiи. Назовемъ ∂ и δ плотности жидкости и ея насыщенныхъ паровъ, R радiусъ кривизны мениска въ трубкѣ; тогда давленiе на точку свободной поверхности въ сосудѣ опредѣляется вѣсомъ столба пара $h\delta g$, а давленiе на точку, лежащую на томъ же уровнѣ внутри трубки, опредѣляется вѣсомъ такого же столба жидкости $h\partial g$, уменьшеннымъ на молекулярное давленiе, $2T/R$, гдѣ T — поверхностное натяженiе жидкости; итакъ $h\delta g = h\partial g - 2T/R$, откуда



Фиг. 1.

$$hg = \frac{2T}{R(\partial - \delta)}. \qquad (1)$$

Съ другой стороны понятно, что давленiе пара должно уменьшаться съ высотою; если на уровняхъ A и B давленiя пара имѣютъ значенiе P и P', то

$$P = P' + hg\delta;$$

подставляя сюда значенiе hg изъ (1) и опредѣляя P', находимъ

$$P' = P - \frac{2T\delta}{R(\partial - \delta)}. \qquad (2)$$

Если бы въ капиллярной трубкѣ жидкость ограничивалась выпуклымъ менискомъ, и давленiе пара на него мы обозначили P'', то нашли бы

$$P'' = P + \frac{2T\delta}{R(\partial - \delta)}; \qquad (3)$$

такъ какъ P' и P'' представляютъ намъ упругости насыщенныхъ паровъ надъ вогнутымъ и выпуклымъ менисками, то они же

представляютъ и упругость испаренія жидкости, ограниченной вогнутымъ и выпуклымъ менисками.

Такъ какъ для воды $T = 74$ dn/cm и $\delta = 0{\cdot}6.0{\cdot}0013$, то для капли въ 1 μ радіуса $2T\delta/R\partial = 1/900$ atm., а для капли въ 1 μμ радіуса эта дробь $= 1$ atm.

5. Кипѣніемъ называется обращеніе жидкости въ паръ по всей своей массѣ; такое испареніе происходитъ только при опредѣленной температурѣ, тогда какъ испареніе съ свободной поверхности происходитъ при всякой температурѣ. Жидкость кипитъ при той температурѣ, при которой ея насыщенные пары имѣютъ упругость, равную внѣшнему давленію. Съ другой стороны извѣстно, что сильно прокипяченная жидкость *перегрѣвается*, т. е. можетъ нагрѣваться выше температуры кипѣнія, не закипая; такъ въ опытахъ Дюфура небольшія капли прокипяченной воды, помѣщенныя въ маслѣ той же плотности, нагрѣвались до 178° подъ атмосфернымъ давленіемъ и не закипали.

Цѣлымъ рядомъ опытовъ Жерне показалъ, что кипѣніе задерживается исключительно отсутствіемъ въ жидкости воздуха или другого газа и невозможностью вслѣдствіе того испаренія жидкости внутри своей массы. Малѣйшій пузырекъ воздуха, внесенный въ перегрѣтую жидкость, тотчасъ вызываетъ кипѣніе. Жерне думаетъ, что пузырекъ воздуха, помѣщающійся внутри кипящей жидкости, представляетъ собою очагъ пузырьковъ пара, отдѣляющихся изъ этой жидкости при кипѣніи. Въ одномъ изъ своихъ опытовъ Жерне замѣтилъ, что въ теченіе сутокъ отъ пузырька воздуха въ куб. миллиметръ объема отдѣлилось 500000 пузырьковъ пара въ 5 mm діаметра каждый, т. е. отдѣлился паръ, объемъ котораго былъ въ тридцать милліоновъ разъ больше объема того воздушнаго пузырька, изъ котораго онъ выходилъ.

Мы уже видѣли, что жидкость и ея насыщенный паръ находятся въ равновѣсіи; но такія условія могутъ наступить лишь въ замкнутомъ пространствѣ; если же жидкость выставлена на открытый воздухъ, то выдѣляемый ею паръ непрерывно разсѣивается въ окружающемъ воздухѣ, и его осѣданіе никогда не можетъ уравновѣсить испаренія. Поэтому-то жидкость, выставленная на открытый воздухъ, мало-по-малу вся испаряется.

Процессъ кипѣнія слѣдуетъ объяснить такъ. На стѣнкахъ сосуда (вслѣдствіе уплотненія воздуха на поверхности твердыхъ

тѣлъ) и внутри жидкостей (вслѣдствіе поглощенія) всегда имѣются газы въ видѣ незамѣтно-малыхъ пузырьковъ; поверхность каждаго такого пузырька, подобно свободной поверхности, служитъ мѣстомъ испаренія жидкости. Если жидкость находится подъ внѣшнимъ давленіемъ H, то и воздухъ пузырька обладаетъ такою же упругостью; пусть онъ при этомъ занимаетъ объемъ V; если въ этотъ пузырекъ собирается паръ упругости P, то пузырекъ раздувается до такого объема V', чтобы общая упругость находящейся въ немъ смѣси воздуха и пара была прежняя, H; слѣдовательно воздухъ въ отдѣльности имѣетъ теперь упругость $H—P$; понятно, что по закону Бойля, примѣненному къ этому воздуху, $V'(H—P)=VH$. По мѣрѣ нагрѣванія упругость испаренія воды возростаетъ, и упругость ея насыщеннаго пара P приближается къ H; вслѣдствіе этого объемъ пузырька, V', возростаетъ и при $P=H$ дѣлается безконечнымъ; это значитъ, что первоначальный пузырекъ порождаетъ безчисленное множество пузырьковъ, которые всплываютъ, и жидкость начинаетъ кипѣть. Это выясняетъ намъ почему жидкость кипитъ при той температурѣ, при которой упругость ея насыщенныхъ паровъ равна внѣшнему давленію. Понятно почему при кипѣніи жидкости пузырьки пара выходятъ только изъ нѣкоторыхъ опредѣленныхъ мѣстъ: они отдѣляются оттуда, гдѣ находятся воздушные пузырьки. Вмѣстѣ съ паромъ поднимается и часть воздуха изъ пузырька; поэтому по мѣрѣ кипѣнія воздушные пузырьки, способствующіе парообразованію внутри жидкости, истощаются, и кипѣніе постепенно затрудняется.

Въ виду всего сказаннаго приходимъ къ заключенію, что кипѣніе не есть неотъемлемая способность жидкостей; послѣднія обладаютъ ею лишь тогда, когда содержатъ въ себѣ растворенные газы; иначе говоря, жидкости кипятъ только когда нечисты. Правда, при обыкновенныхъ условіяхъ жидкость всегда содержитъ въ себѣ растворенные газы и потому можетъ кипѣть, но по мѣрѣ очищенія жидкости отъ газообразныхъ примѣсей кипѣніе затрудняется; можно думать, что, вполнѣ очистивъ жидкость отъ газообразныхъ примѣсей, мы совершенно лишимъ ее способности кипѣть.

6. Обратный процессъ, переходъ пара въ жидкость на всѣхъ языкахъ называется конденсаціею (condensation), т. е. сгущеніемъ пара, а по-русски *осажденіемъ пара.* Русскій терминъ удачнѣе

иностраннаго, ибо заставляетъ подумать о томъ, на чтó осѣдаетъ паръ. Оказывается, что паръ всегда осѣдаетъ на поверхность жидкости или — что то же самое — на смоченную поверхность твердаго тѣла.

Возьмемъ колбу съ водою; закроемъ колбу пробкою, чрезъ которую проходитъ стеклянная трубка, соединенная съ разрѣжающимъ насосомъ; надъ водою скоро образуется насыщенный паръ, который, какъ извѣстно, есть безцвѣтный и совершенно прозрачный, а потому и невидимый газъ. Если же однимъ или двумя ударами поршня насоса этотъ паръ быстро расширить и внезапно охладить, то онъ дѣлается пересыщеннымъ и осѣдаетъ въ непрозрачный туманъ, состоящій изъ капелекъ воды. Но такое осажденіе пара происходитъ лишь тогда, когда сосудъ наполненъ обыкновеннымъ комнатнымъ воздухомъ, содержащимъ пыль; если же въ сосудѣ находится совершенно чистый воздухъ (очищенный отъ пыли, предварительнымъ пропусканіемъ чрезъ ваточную пробку), то въ немъ туманъ не образуется — сосудъ остается совершенно прозрачнымъ, а если паръ осѣдаетъ, то исключительно на стѣнкахъ сосуда. Изъ всего этого мы должны заключить, что туманъ образуется вслѣдствіе осѣданія насыщеннаго пара на смоченную поверхность плавающихъ въ немъ пылинокъ, которыя служатъ ядрами для образующихся при этомъ капелекъ жидкости. При отсутствіи пыли паръ можетъ пересыщаться и не осѣдаетъ.

Между осѣданіемъ пара и кипѣніемъ жидкости есть нѣкоторая аналогія: какъ жидкость кипитъ только тогда, когда въ ней есть примѣсь воздуха, иначе она перегрѣвается, такъ и паръ осѣдаетъ только тогда, когда въ немъ есть примѣсь пыли, иначе онъ пересыщается.

Паръ осѣдаетъ на поверхностяхъ жидкости, когда его упругость сколько-нибудь превышаетъ упругость испаренія этой жидкости; послѣдняя же зависитъ отъ кривизны поверхности, которою она ограничена. Понятно почему паръ не можетъ осѣдать безъ помощи пылинокъ. Упругость испаренія капли пропорціональна ея кривизнѣ; слѣдовательно начальная стадія самостоятельнаго образованія капельки, когда ея размѣры безконечномалы, могла бы происходить только при безконечно-большой упругости пара; на поверхность же пылинки даже микроскопической, паръ можетъ осѣдать, будучи лишь немного пересыщен-

нымъ. Въ свободной атмосферѣ пары не могутъ осѣдать на частицахъ воздуха, размѣръ коихъ порядка 1 $\mu\mu$, ибо для образованія капелекъ такого радіуса паръ долженъ имѣть, какъ мы видѣли, упругость болѣе 2 atm.

Образованіемъ капельки около каждой пылинки въ влажномъ воздухѣ, который пересыщается, можно воспользоваться для оцѣнки степени запыленности этого воздуха. Качественно это дѣлается по окрашиванію тумана образующагося внутри испытуемаго воздуха, когда его внезапно расширяютъ. Это можно сдѣлать и количественно, уловивъ на раздѣленное стеклышко падающія изъ тумана капельки и сосчитывая ихъ подъ микроскопомъ.

7. Мы выяснили возникновеніе тѣхъ микроскопическихъ капелекъ, которыя образуютъ туманъ. Но какъ образуются падающія на землю дождевыя капли конечныхъ размѣровъ? Если въ насыщенномъ парѣ уже возникли маленькія капельки, образовавшіяся около взвѣшенныхъ пылинокъ, то размѣры ихъ, конечно, различны; и потому эти капельки обладаютъ различными упругостями испаренія. Легко видѣть, что безконечно-малая капелька неустойчива; обладая очень большою упругостью испаренія, она, если только не находится въ сильно пересыщенномъ парѣ, будетъ испаряться, убывать и, наконецъ, исчезнетъ, вмѣсто того, чтобы возростать отъ осѣдающаго на него пара. А въ то же время на бóльшія капельки, обладающія меньшею упругостью испаренія, будетъ осаждаться паръ и тѣмъ быстрѣе, чѣмъ размѣры ея становятся больше. Такимъ образомъ въ туманѣ большія капельки ростутъ на счетъ меньшихъ и скоро достигаютъ конечныхъ размѣровъ. Вотъ какъ изъ тумана образуются дождевыя капли, которыя падаютъ на землю.

8. Капельки тумана образуются ни только вокругъ пылинокъ, но и вокругъ іоновъ электропроводящаго газа.

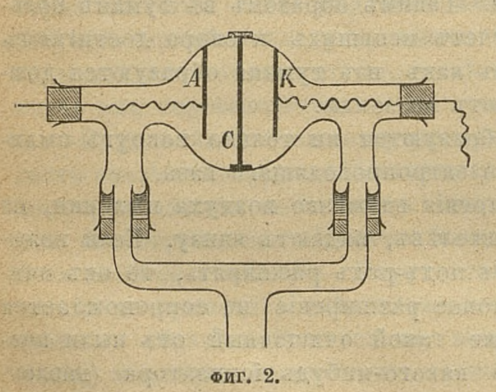
Послѣ быстраго расширенія влажнаго воздуха пылинки, на которыя осѣдаетъ паръ, отяжелѣвъ, падаютъ книзу. Если влажный воздухъ нѣсколько разъ подъ-рядъ расширять, то онъ очищается отъ пылинокъ, и новое расширеніе не сопровождается появленіемъ тумана; если же такой очищенный отъ пыли воздухъ подвергнуть дѣйствію какого-нибудь іонизатора (наэлектризованнаго острія, рёнтгеновскихъ лучей и т. п.), и затѣмъ быстро расширить, то туманъ вновь появляется.

Вотъ опытъ Р. Гельмгольца, наглядно доказывающій это. Колба съ водою закрыта пробкою, чрезъ которую проходитъ узкая стеклянная трубочка. Нагрѣемъ колбу до кипѣнія воды; тогда изъ трубочки будетъ вырываться струя пара, которую освѣтимъ продольно лучами электрическаго фонаря; если на такую струю смотрѣть сбоку, поставивъ по другую сторону черную ширму, то она представляется сѣрою и неопредѣленнаго очертанія. Вблизи начала струи помѣстимъ остріе, соединенное съ электрическою машиною; какъ только электричество начнетъ стекать съ острія, такъ струя ярко вспыхиваетъ и окрашивается въ яркія цвѣта отъ тѣхъ диффракціонныхъ явленій, которыя вызываются образовавшимися капельками; по выходѣ изъ трубки струя не видна, въ нѣкоторомъ разстояніи она синяя, далѣе зеленая, желтая, красная, затѣмъ опять синяя и т. д; различіе цвѣтовъ зависитъ отъ того, что въ разныхъ мѣстахъ струи образуютъ капельки различныхъ размѣровъ.

Такое осѣданіе пара можно вызвать ни только іонизированіемъ воздуха отъ наэлектризованнаго острія, но и другими іонизаторами: пламенемъ, рёнтгеновскими лучами, лучами радія и т п.

Эти опыты особенно интересны тѣмъ, что въ нихъ мы можемъ непосредственно видѣть мельчайшія частички матеріи въ видѣ іоновъ: окружаясь водяною оболочкою, они дѣлаются замѣтными.

9. Въ электропроводящемъ воздухѣ имѣются положительные и отрицательные іоны; одинаково-ли дѣйствуютъ, какъ центры осѣданія, тѣ и другіе іоны? Рѣшеніемъ этого вопроса занялся Уильсонъ (C. T. R. Wilson). Сферическій сосудъ, въ которомъ вызывалось осѣданіе, раздѣлялся мѣдною перегородкою *C* (фиг. 2) на двѣ равныя части; въ каждой половинѣ сосуда находилось по электроду *A* и *K*; тонкій слой воздуха вблизи перегородки подвергался дѣйствію іонизатора (рёнтгеновскихъ лучей); среднюю перегородку отводили



Фиг. 2.

къ землѣ, лѣвый электродъ A заряжали положительно, а правый K — отрицательно. Подъ дѣйствіемъ электрическихъ силъ поля въ освѣщенномъ слоѣ справа отъ перегородки отрицательные іоны входятъ въ послѣднюю, а положительные распространяются въ правой половинѣ сосуда; точно также въ освѣщенномъ слоѣ слѣва отъ перегородки положительные іоны входятъ въ послѣднюю, а отрицательные распространяются въ лѣвой половинѣ сосуда. При такихъ условіяхъ лѣвая половина сосуда содержала положительные іоны, а правая — отрицательные. Затѣмъ приступали къ расширенію воздуха, заключающагося въ сосудѣ; когда это расширеніе (измѣряемое отношеніемъ объемовъ опредѣленной массы воздуха послѣ и до разрѣженія) равнялось 1·28, то туманъ появлялся лишь въ той половинѣ сосуда, въ которой находились отрицательные іоны; при расширеніи = 1·31 туманъ появлялся въ обѣихъ половинахъ сосуда. Итакъ водяные пары легче осѣдаютъ на отрицательные іоны, чѣмъ на положительные.

Указанное различіе въ свойствахъ положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, какъ центровъ осѣданія, позволяетъ объяснить происхожденіе атмосфернаго электричества. Воздухъ, какъ извѣстно, всегда бываетъ болѣе или менѣе іонизированъ; но вообще въ каждомъ какъ угодно маломъ объемѣ воздуха находится столько же положительныхъ, сколько и отрицательныхъ іоновъ; тогда въ атмосферѣ нѣтъ электрическаго поля. Представимъ себѣ, что іонизированный воздухъ быстро расширяется (попадая съ восходящимъ токомъ въ верхніе болѣе разрѣженные слои); если въ этомъ воздухѣ находятся насыщенные пары, они пересыщаются и начинаютъ осѣдать прежде всего на отрицательные іоны, при чемъ образуются водяныя капли, заряженныя отрицательнымъ электричествомъ; эти капли, постепенно увеличиваясь, падаютъ на землю. Вслѣдствіе этого іоны верхняго слоя раздѣляются: отрицательные іоны, какъ сейчасъ было объяснено, падаютъ на землю, которой и передаютъ свои заряды, а положительные іоны (если только расширеніе не достигнетъ предѣла 1·31) остаются въ верхнихъ слояхъ атмосферы. Такимъ раздѣленіемъ положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ и обусловливается электрическое поле въ атмосферѣ.

Новая теорія физическихъ явленій.

А. Риги[1]).

—○—❧—○—

1. *Электролитическіе іоны и электроны.*

Для объясненія электролиза въ согласіи съ извѣстными законами Фарадея, которымъ это явленіе подчиняется, теперь принята гипотеза электролитической диссоціаціи: каждая частица электролита можетъ распасться на два *іона*, т. е. на два атома или на двѣ атомныя группы, имѣющія равные заряды противоположныхъ знаковъ. Такъ, если хлористый натрій растворяется въ водѣ, нѣкоторыя изъ его частицъ подвергаются диссоціаціи, образуются іоны, которые раздѣляются и дѣлаются свободными. Вслѣдствіе невидимаго частичнаго движенія, энергія коего обусловливаетъ содержащуюся въ тѣлѣ теплоту, эти іоны перемѣщаются въ жидкости по всѣмъ возможнымъ направленіямъ. Можетъ случиться, что вслѣдствіе взаимныхъ столкновеній какіенибудь іоны соединяются въ частицу, а въ другомъ мѣстѣ частица распадается на іоны. Тутъ непрерывно происходятъ соединенія и разъединенія, но такъ, что число диссоціированныхъ частицъ съ теченіемъ времени не измѣняется.

Если въ растворъ погружены два электрода, соединенныхъ съ полюсами батареи, то іоны не перемѣщаются болѣе по случайнымъ направленіямъ, но, подчиняясь электрическимъ силамъ, направляются: положительные іоны (катіоны) къ отрицательному электроду (катоду), а положительные іоны (аніоны) къ отрицательному электроду (аноду). Достигнувъ электродовъ, іоны отдаютъ имъ свои заряды и превращаются въ нейтральные атомы, которые остаются свободными, если только не произойдетъ химическаго взаимодѣйствія между такими атомами и окружающи-

[1]) Переводъ нѣкоторыхъ главъ изъ книги проф. Болонскаго Университета *Augusto Righi*, La moderna teoria dei fenomeni fisici (radioattivita, ioni, elettroni).

ми тѣлами (что имѣетъ мѣсто въ случаѣ натрія). Электрическій токъ въ жидкости состоитъ въ переносѣ іонами своихъ зарядовъ.

Электролизъ подчиняется двумъ законамъ, которые были открыты Фарадеемъ. Первый изъ этихъ законовъ, который устанавливаетъ пропорціональность между количествомъ проходящаго по жидкости электричества и количествомъ выдѣленнаго на электродахъ вещества, утверждаетъ вмѣстѣ съ тѣмъ, что всѣ іоны, существующіе въ жидкости, обладаютъ равными по величинѣ зарядами. Такъ, въ случаѣ хлористаго натрія заряды всѣхъ аніоновъ натрія равны между собою и равны, но обратны по знаку зарядамъ катіоновъ хлора.

Второй законъ Фарадея говоритъ, что при прохожденіи одного и того же количества электричества чрезъ нѣсколько растворовъ (помѣщенныхъ напр. послѣдовательно въ одну цѣпь), количества отложенныхъ веществъ пропорціональны ихъ химическимъ эквивалентамъ. Въ силу этого закона мы должны принять, что всѣ одновалентные атомы обладаютъ одинаками по величинѣ зарядами и равными зарядамъ іоновъ хлора и натрія, что всѣ атомы, обладающіе вдвое бо́льшими зарядами, суть двухвалентные и т. д. Слѣдующій примѣръ разъяснитъ дѣло. Если токъ проходитъ чрезъ растворъ Cu_2Cl_2, частица котораго содержитъ два атома мѣди (въ этомъ случаѣ одновалентной) и два атома хлора, и затѣмъ чрезъ растворъ $CuCl_2$, частица которой содержитъ одинъ атомъ мѣди (теперь двухвалентной) и два атома хлора, то на катодѣ первой ванны соберется вдвое больше мѣди, чѣмъ на катодѣ второй, хотя, понятно, количества положительнаго электричества, проносимыя за одно время чрезъ обѣ жидкости, одинаковы.

Въ 1881 г. знаменитый Гельмгольцъ обратилъ вниманіе на то, что законы электролиза заключаютъ въ себѣ идею о томъ, что электрическій зарядъ, принадлежащій одновалентному іону, есть постоянная величина и существуетъ самостоятельно и подобно тому, какъ матеріальный атомъ есть постоянная и опредѣленная часть извѣстнаго вещества, считающаяся недѣлимою, такъ и нашъ электрическій зарядъ можно считать постояннымъ и недѣлимымъ, ибо зарядъ меньшій этого количества электричества никогда не встрѣчается. Зарядъ одновалентнаго атома есть слѣдовательно *атомъ электричества;* по предложенію Стоне его называютъ *электрономъ.*

Не слѣдуетъ думать, чтобы гипотеза объ атомномъ строеніи электричества обязывала насъ считать послѣднее за матерію; электронъ можно разсматривать, какъ мѣстное измѣненіе эѳира. Вмѣсто матеріализаціи электричества мы скорѣе приходимъ къ противоположному выводу, по которому матеріальные атомы суть системы электроновъ.

Когда электроны достигаютъ электродовъ и становятся нейтральными атомами, электроны входятъ въ цѣпь и образуютъ въ ней электрическій токъ. Теперь естественно принять, что электроны не составляютъ частей непрерывнаго цѣлаго (прежней электрической жидкости) и всегда сохраняютъ свою индивидуальность; при переходѣ отъ одного атома къ другому, они короткое время существуютъ даже изолированными отъ матеріи. Такимъ образомъ электрическій токъ въ проводникѣ есть не что иное, какъ движеніе свободныхъ іоновъ по междучастичному пространству. Остается лишь неопредѣленнымъ, состоитъ-ли токъ изъ одновременныхъ движеній положительныхъ электроновъ по одному направленію и отрицательныхъ по противоположному или изъ движенія однихъ электроновъ, напр. отрицательныхъ, по одному направленію. Есть основаніе принять послѣднее предположеніе, ибо имѣются факты, указывающіе на то, что отрицательные электроны могутъ существовать въ свободномъ состояніи, чего нельзя сказать относительно положительныхъ электроновъ; повидимому, только отрицательные электроны, отдѣлившись отъ вѣсомой матеріи, могутъ двигаться поступательно или колебаться (въ источникѣ свѣта). Послѣ этого мы должны принять, что когда отрицательный іонъ отлагается на анодѣ, то отдаетъ ему свой электронъ, а когда положительный іонъ доходитъ до катода, то не отдаетъ своего положительнаго электрона, но отъ самого катода заимствуетъ отрицательный электронъ.

Здѣсь отчасти возрождается старая гипотеза электрическихъ жидкостей, но въ значительно измѣненномъ видѣ; нѣтъ рѣчи о непрерывной жидкости, но объ особыхъ атомахъ (электронахъ), которыхъ, однако, какъ уже было замѣчено, мы не обязаны считать матеріальными въ обычномъ смыслѣ этого слова.

Съ другой стороны, и это особенно важно, новая гипотеза въ противоположность прежней гипотезѣ жидкостей не приписываетъ электрическимъ атомамъ таинственнаго свойства дѣйствія на разстояніи, но предполагаетъ, что взаимодѣйствія ме-

жду электронами обусловливаются особыми упругими деформаціями эѳира, подобными тѣмъ, съ помощью которыхъ максвеллевская теорія объясняетъ электрическія силы между заряженными проводниками.

Для объясненія явленій электролиза достаточно, какъ мы уже сдѣлали, принять гипотезу электролитической диссоціаціи; однако эта гипотеза недостаточна для объясненія распространенія электричества въ газахъ и нѣкоторыхъ другихъ явленій. Но въ допущеніи *электрической диссоціаціи*, т. е. отдѣленіи отрицательнаго электрона отъ нейтральнаго атома, мы находимъ основаніе для объясненія какъ электролиза, такъ и другихъ явленій.

При отдѣленіи отрицательнаго электрона отъ нейтральнаго атома, должна быть затрачена извѣстная энергія для преодолѣнія притяженія, соединяющаго электронъ съ положительнымъ іономъ, въ который превращается атомъ, когда отъ него отдѣляется отрицательный электронъ. Это совершенно подобно тому, какъ необходимо затратить тепловую энергію для отдѣленія частицъ отъ жидкости, когда она испаряется, или какъ надо затратить механическую работу для поднятія камня надъ землею.

Энергія, необходимая для іонизаціи или диссоціаціи одного атома зависитъ, конечно, отъ его химическихъ свойствъ. Опытъ показываетъ, что для такъ называемыхъ „электроположительныхъ" тѣлъ, какъ металлы, эта энергія наименьшая и увеличивается по мѣрѣ приближенія къ болѣе „электроотрицательнымъ" тѣламъ, которыя даже вовсе не отдѣляютъ отрицательныхъ электроновъ, а принимаютъ въ себя новые. Эта энергія зависитъ также отъ природы и условій окружающихъ атомовъ; она особенно мала для тѣлъ въ водномъ растворѣ.

Если такъ, то электролитическую диссоціацію, т. е. раздѣленіе частицы на два іона, напр. частицы $NaCl$ на положительный іонъ натрія и отрицательный іонъ хлора, слѣдуетъ разсматривать, какъ слѣдствіе диссоціаціи металлическаго атома: онъ распадается на положительный іонъ натрія и отрицательный электронъ, который усвоивается атомомъ хлора, превращающимся при этомъ въ отрицательный іонъ. Указанное представленіе объ электрической диссоціаціи и вытекающія изъ нея слѣдствія составляютъ общую теорію электроновъ.

2. *Іоны въ газахъ и твердыхъ тѣлахъ.*

Въ электролитахъ электроны соединяются съ нейтральными атомами, образуя свободные іоны; движеніе такихъ іоновъ составляетъ электрическій токъ въ жидкости. Теперь установилось мнѣніе, что то же имѣетъ мѣсто и въ газахъ: когда газъ обладаетъ электропроводностью, въ немъ имѣются іоны, которые перемѣщаются подъ дѣйствіемъ электрическихъ силъ. Гипотеза объ іонизаціи газовъ теперь достигла всеобщаго признанія въ виду многочисленныхъ опытныхъ подтвержденій послѣднихъ лѣтъ.

Итакъ мы представляемъ себѣ, что въ газѣ имѣются свободные іоны; обыкновенно они тамъ столь малочисленны, что обусловливаемая ими проводимость ничтожна; но при извѣстныхъ обстоятельствахъ — подъ соотвѣтствующимъ вліяніемъ внѣшней энергіи—газъ *іонозируется*, иначе говоря, большое число его атомовъ распадается на положительные іоны и отрицательные электроны. Если газъ недостаточно разрѣженъ, электроны соединяются съ нейтральными атомами и образуютъ отрицательные іоны; кромѣ того, какъ указываютъ нѣкоторые факты, атомы или частицы могутъ соединяться съ іонами для образованія группъ, которыя, обладая обыкновеннымъ зарядомъ іона, имѣютъ массу гораздо бóльшую, чѣмъ масса простого іона.

Наиболѣе естественное объясненіе извѣстныхъ фактовъ, въ особенности только-что упомянутыхъ, состоитъ въ томъ, что электропроводность газа обусливается присутствіемъ наэлектризованныхъ частичекъ, которыя могутъ двигаться между его частицами.

Іонизированный газъ теряетъ свою электропроводность, если проходитъ чрезъ тѣсные промежутки, напр. чрезъ стеклянную вату, чрезъ длинную и узкую металлическую трубочку или пропускается пузырьками чрезъ проводящую жидкость, не содержащую, впрочемъ, радіоактивныхъ веществъ; газъ теряетъ свою электропроводность и въ томъ случаѣ, когда проходитъ между обкладками заряженнаго конденсатора. Въ первомъ случаѣ дѣло объясняется притяженіемъ іоновъ тѣлами, близъ которыхъ они проходятъ; во второмъ обкладки конденсатора притягиваютъ къ себѣ и удерживаютъ іоны противоположныхъ зарядовъ и такимъ образомъ устраняютъ ихъ изъ газа.

Способъ, которымъ іонизированный газъ проводитъ электрическій токъ, вполнѣ согласуется съ принятою гипотезою. Представимъ себѣ два параллельныхъ металлическихъ диска, изъ коихъ одинъ соединенъ съ полюсомъ батареи, а другой—съ электрометромъ; если іонизировать воздухъ между дисками, напр. освѣщая его рёнтгеновскими лучами, и измѣнять значеніе потенціала, доставляемаго батареею, то мы замѣтимъ, что токъ въ газѣ не слѣдуетъ закону Ома, по которому токъ въ проводникѣ возростаетъ пропорціонально разности потенціаловъ на концахъ этого проводника; дѣйствительно, токъ, измѣряемый зарядомъ, который въ данный промежутокъ времени доставляется диску, соединенному съ электрометромъ, возростаетъ значительно медленнѣе, чѣмъ разность потенціаловъ; наконецъ, токъ достигаетъ предѣльной величины, послѣ чего уже не измѣняется, какъ бы затѣмъ нотенціалъ батареи ни возросталъ. Когда токъ достигаетъ этого предѣльнаго значенія, онъ называется *токомъ насыщенія*; тогда всѣ іоны, образуемые въ данный промежутокъ времени (рёнтгеновскими лучами или инымъ іонизаторомъ) утилизируются для передачи тока за то же время; увеличеніе потенціала не имѣетъ никакого дѣйствія, ибо уже нѣтъ больше іоновъ, которыми можно было бы воспользоваться. Отмѣчу одно интересное обстоятельство, вполнѣ объясняемое принятою гипотезою. Если разстояніе между нашими дисками измѣнять, то и токъ, идущій между ними по іонизированному воздуху, тоже измѣняется, но иначе, чѣмъ можно было бы ожидать: въ извѣстныхъ предѣлахъ *токъ увеличивается съ увеличеніемъ разстоянія.* Дѣло объясняется просто, если обратимъ вниманіе, что съ увеличеніемъ разстоянія между дисками возростаетъ объемъ воздуха, въ которомъ происходитъ явленіе, а слѣд. возростаетъ и число іоновъ, которые своимъ движеніемъ образуютъ токъ насыщенія.

Іоны, двигаясь между частицами газовъ, часто сталкиваются съ ними; при этомъ могутъ возникать новые іоны вслѣдствіе распаденія нейтральныхъ частицъ; въ то же время противоположныхъ знаковъ іоны могутъ соединяться въ нейтральныя частицы. Это послѣднее обстоятельство, именно, непрерывное исчезновеніе іоновъ, имѣетъ слѣдствіемъ то, что при дѣйствіи даннаго іонизатора число іоновъ не можетъ превосходить извѣстнаго предѣла.

Іоны, образованные въ данной области газа, диффундиру-

ютъ въ другія области. Въ газѣ, находящемся подъ обыкновеннымъ давленіемъ, скорость диффузіи обыкновенно очень мала вслѣдствіе частыхъ столкновеній; но если развивается электрическое поле, то скорость диффузіи становится значительною, въ нѣсколько центиметровъ въ секунду.

Причиною іонизаціи газовъ бываетъ различнаго рода лучи— ультрафіолетовые, катодные, рёнтгеновскіе и беккерелевскіе, а также нагрѣваніе до сравнительно высокой температуры. Іонизація бываетъ бóльшая или меньшая, смотря по обстоятельствамъ, и ограничена вслѣдствіе непрерывнаго возсоединенія атомовъ и нейтральныхъ частицъ.

Но существуетъ еще другая причина іонизаціи, къ которой въ сущности сводятся нѣкоторыя изъ вышеупомянутыхъ, это столкновеніе іоновъ съ атомами и частицами. Если іонъ обладаетъ извѣстною скоростью, то онъ сообщаетъ атому достаточную энергію для его раздѣленія на положительный іонъ и отрицательный электронъ. Разсмотримъ вкратцѣ различные способы іонизаціи газа.

Свѣтовые лучи, въ особенности ультрафіолетовые, могутъ іонизировать газъ двумя различными способами. Падая на твердое или жидкое тѣло, они вызываютъ выдѣленіе отрицательныхъ электроновъ, что обусловливаетъ или быстрое разряженіе тѣла, если оно было заряжено отрицательно, или заряженіе тѣла положительнымъ электричествомъ. Обыкновенно опыты дѣлаются съ металлами, ибо на жидкость дѣйствіе слабѣе, а твердые изоляторы неудобны для количественныхъ измѣреній. Въ качествѣ активныхъ лучей, употребляютъ не свѣтящіе ультрафіолетовые лучи, испускаемые вольтовою дугою или электрическою искрою, хотя нѣкоторыя тѣла, какъ щелочные металлы и амальгамированный цинкъ, даютъ замѣтныя явленія даже со свѣтящими лучами. Если напряженіе электрическаго поля, обусловливаемаго отрицательнымъ зарядомъ тѣла, значительно, то выдѣляемые этимъ тѣломъ отрицательные электроны могутъ пріобрѣсти достаточную скорость для того, чтобы ударами іонизировать нейтральные атомы.

Впрочемъ, какъ показалъ Ленардъ, наиболѣе преломляемые ультрафіолетовые лучи, испускаемые электрическою искрою, іонизируютъ пронизываемый ими газъ; лучи, испускаемые искрою между алюминіевыми проводниками, падая на заряженное тѣло,

одинаково быстро разряжаютъ его, какимъ бы электричествомъ оно ни было заряжено, и въ какомъ бы состояніи ни была его поверхность; это не можетъ быть слѣдствіемъ поверхностнаго дѣйствія, но скорѣе слѣдствіе іонизаціи лучами массы пронизываемаго воздуха, ибо если воздухъ съ того мѣста, гдѣ онъ былъ іонизированъ, сдунуть на другое мѣсто, то здѣсь онъ производитъ разрядъ, благодаря сохраняющейся въ немъ на нѣкоторое время электропроводности. Іонизація воздуха прекращается, какъ скоро мы устранимъ лучи.

Повидимому, только быстрыя колебанія ультрафіолетовыхъ лучей вызываютъ іонизацію газовъ въ замѣтной степени. Описанные выше опыты удаются только въ томъ случаѣ, когда лучи проходятъ по воздуху короткій путь (нѣсколько центиметровъ), ибо они сильно поглощаются воздухомъ при обыкновенномъ давленіи.

Рёнтгеновскіе лучи состоятъ, повидимому, изъ эѳирныхъ волнъ, образуемыхъ внезапными сотрясеніями электроновъ въ атомахъ газа; механизмъ іонизаціи рёнтгеновскими лучами поэтому долженъ быть аналогиченъ только-что описанному.

Наконецъ, повышеніе температуры, эквивалентное увеличенію скорости атомовъ, а слѣд. и отрицательныхъ электроновъ, влечетъ за собою освобожденіе послѣднихъ отъ соединенія съ положительною частью атома. До-красна раскаленная проволока іонизируетъ газъ, находящійся съ нею въ соприкосновеніи; газы пламени всегда оказываются сильно іонизированными.

Въ каждомъ газѣ всегда существуютъ іоны; своими ударами о частицы газа они обращаютъ ихъ тоже въ іоны; но для того, чтобы такая іонизація была замѣтна, надо развить достаточное электрическое поле въ газѣ; въ слишкомъ слабомъ полѣ іоны не успѣваютъ подъ дѣйствіемъ электрической силы пріобрѣтать достаточную скорость въ промежутокъ между двумя ударами; при каждомъ столкновеніи скорость іона уменьшается, ибо часть своей кинетической энергіи іонъ передаетъ ударяемой частицѣ. При такихъ условіяхъ путь іона не можетъ значительно уклониться отъ направленія силовыхъ линій. Такъ наз. *электрическая тѣнь* есть прямое слѣдствіе этого обстоятельства. Если же въ газѣ развивается сильное электрическое поле, то частицы его начинаютъ распадаться подъ дѣйствіемъ ударовъ іоновъ, и самъ газъ іонизируется; на такой іонизаціи газа основывается

вполнѣ удовлетворительное объясненіе сложныхъ и разнообразныхъ явленій электрическаго разряда.

Остановимся только на разрядѣ въ разрѣженномъ воздухѣ (въ разрядной трубкѣ). Извѣстно, что при маломъ разрѣженіи около каждаго электрода образуется по свѣтящемуся облачку; пространство между обоими называется *фарадеевскимъ темнымъ пространствомъ*; съ увеличеніемъ разрѣженія положительное облачко сокращается, а отрицательное расширяется и, наконецъ, распадается на двѣ части, раздѣляемыхъ *катоднымъ темнымъ пространствомъ*. Явленіе вызывается тѣми немногими электронами, которые существуютъ въ газѣ, или же, можетъ быть, отрицательными электронами, выбрасываемыми катодомъ; эти электроны движутся ускорительно и въ нѣкоторомъ разстояніи отъ катода пріобрѣтаютъ скорость, дѣлающую ихъ способными ударомъ раздѣлить частицу на іоны; тутъ образуется втрое катодное облачко. Электрическія силы направляютъ положительные іоны къ катоду, вблизи котораго они пріобрѣтаютъ скоростъ достаточную для іонизаціи газа, гдѣ и образуется первое катодное облачко. Наконецъ, темное катодное пространство есть то мѣсто, въ которомъ іоны, образуемые во второмъ катодномъ облачкѣ, и электроны, выбрасываемые изъ катода, не обладаютъ достаточными скоростями для того, чтобы производить здѣсь іонизацію.

Интересно знать, что дѣлается съ положительными іонами послѣ того, какъ они доходятъ до катода. Нѣкоторые изъ нихъ нейтрализуются отрицательными электронами, другіе — вслѣдствіе измѣнившагося отъ ударовъ направленія скоростей — огибаютъ катодъ или же проходятъ чрезъ него, если онъ снабженъ отверстіями или „каналами"; тогда по ту сторону катода положительные іоны образуютъ *закатодные* или *анодные лучи*, аналогичные катоднымъ лучамъ; они были открыты Гольдштейномъ и названы *Kanalstrallen*. Поле, какъ электрическое, такъ и магнитное, отклоняетъ закатодные лучи, но въ сторону противоположную той, въ которую оно отклоняетъ катодные лучи; отсюда и выводится заключеніе, что эти лучи состоятъ изъ потока положительно заряженныхъ частицъ, тогда какъ катодные лучи состоятъ изъ потока отрицательныхъ частицъ. При равныхъ условіяхъ отклоненіе закатодныхъ лучей значительно меньше отклоненія катодныхъ лучей; отсюда заключаемъ, что положительно

заряженныя частицы обладаютъ не ничтожными массами катодныхъ частичекъ, но массами, которыя сравнимы съ массами атомовъ или электролитическихъ іоновъ. Здѣсь мы имѣемъ дѣло не съ положительными электронами, но съ іонами и, вѣроятно, съ группами бо́льшихъ массъ.

Если мы примемъ, что въ газахъ и жидкостяхъ электрическій токъ конвективный, то подобная же гипотеза въ примѣненіи къ твердымъ проводникамъ является вполнѣ естественною. Но, такъ какъ мы уже знаемъ, что лишь одни отрицательные электроны могутъ существовать изолированно, надо принять, что электрическій токъ въ проводникѣ долженъ состоять по крайней мѣрѣ преимущественно изъ движенія отрицательныхъ электроновъ. Извѣстно, что катодные лучи проходятъ чрезъ тонкіе металлическіе листочки; отсюда заключаемъ, что металлы не представляютъ непреодолимаго препятствія къ движенію въ нихъ электроновъ. Не входя въ подробности, скажемъ только, что такое представленіе тока позволяетъ легко объяснить рядъ извѣстныхъ фактовъ, какъ напр. пропорціональность между тепло- и электропроводностью различныхъ тѣлъ, оптическія свойства металловъ и др. Электронная теорія ни только не противорѣчитъ такого рода явленіямъ, но и даетъ имъ простое объясненіе.

3. *Электроны и строеніе матеріи.*

Въ виду легкости, съ которою электронная теорія объясняетъ механизмъ физическихъ явленій, она признается полезною даже тѣми учеными, которые видятъ въ ней лишь одно средство для изслѣдованія. Теорія эта находится еще въ слишкомъ раннемъ періодѣ своего развитія, чтобы ее можно было считать твердымъ основаніемъ для новой системы философіи природы. Тѣмъ не менѣе, такъ какъ ея точка зрѣнія постоянно пріобрѣтаетъ все большее и большее значеніе, то мы изложимъ еще гипотезу, по которой матерія нынѣ считается построенною изъ электроновъ.

Въ этомъ новомъ представленіи о строеніи тѣлъ электронамъ отводятъ очень важную роль; но для объясненія извѣстныхъ явленій этой области съ помощью электроновъ, послѣднимъ надо приписать нѣкоторыя существенныя свойства. Мы уже приняли, что существуютъ два рода электроновъ—отрица-

тельные и положительные; что только первые изъ нихъ (а не вторые) могутъ существовать въ свободномъ состоянiи; что отрицательный электронъ отдѣляется легче (при меньшей затратѣ энергiи) отъ однихъ атомовъ, чѣмъ отъ другихъ; наконецъ, что электроны взаимодѣйствуютъ по законамъ, выражаемымъ формулами Герца и Максвелля. Отсюда уже слѣдуетъ, что новая теорiя не имѣетъ притязанiя объяснять причину электрическихъ явленiй; это остается пока тайною. Тогда какъ прежде, съ помощью космическаго эѳира и вѣсомой матерiи, характеризуемой главнымъ ея атрибутомъ—инерцiею, пробовали дать механическое объясненiе всѣмъ явленiямъ, теперь наоборотъ, съ помощью эѳира и электроновъ стремятся изъ электроновъ построить матерiю и объяснять всѣ свойства, которыми она обладаетъ. Такимъ образомъ можно сказать, что электронная теорiя скорѣе есть теорiя матерiи, чѣмъ теорiя электричества; въ новой системѣ электричество ставится на мѣсто матерiи, сущность которой понималось не больше, чѣмъ понимается теперь сущность электроновъ.

Для лучшаго уразумѣнiя важности гипотезы и основныхъ свойствъ электроновъ, необходимо синтетически представить явленiя, обусловливаемыя наэлектризованными тѣлами, какъ покоющимися, такъ и движущимися.

Представимъ себѣ, что два разнородныхъ тѣла приведены въ соприкосновенiе и затѣмъ разъединены; послѣ этого они заряжаются противоположными электричествами, взаимодѣйствуютъ, и вокругъ нихъ развивается электрическое поле. Если одно изъ этихъ тѣлъ, напр. положительно заряженное, удалить въ безконечность, то остается разсматривать только другое тѣло, отрицательное. Если положимъ, что это тѣло очень мало, то электрическое поле представится прямолинейными силовыми линiями, сходящимися къ тѣлу со всѣхъ сторонъ; окружающiй эѳиръ теперь деформированъ въ самомъ обширномъ смыслѣ этого слова: онъ находится въ такомъ состоянiи, что по направленiю силовыхъ линiй онъ натянутъ, а поперекъ ихъ сжатъ; все это обусловливаетъ „дѣйствiе на разстоянiи". Какъ можетъ возникнуть это особое состоянiе эѳира, какъ оно можетъ соотвѣтствовать положительному и отрицательному заряду, это вопросы, на которые мы совершенно не въ состоянiи отвѣчать, какъ не можемъ отвѣтить на вопросъ о природѣ и строенiи вездѣсущаго эѳира.

Теперь представимъ себѣ, что малое отрицательно наэлектризованное тѣло движется равномѣрно; особое состояніе деформаціи, о которомъ мы говорили выше, тоже будетъ перемѣщаться въ эѳирѣ; какъ изъ теоріи Максвелля, такъ и изъ прямого опыта слѣдуетъ, что такое перемѣщеніе эѳирнаго натяженія вызываетъ магнитное поле. Это поле можетъ быть разсматриваемо, какъ обусловливаемое деформаціею, хотя въ сущности и отличною отъ электрической деформаціи, но аналогичною ей, ибо и здѣсь имѣютъ мѣсто продольныя натяженія и поперечныя сжатія. И если электрическое тѣло движется прямолинейно, то магнитныя силовыя линіи суть круги съ центрами на траекторіи и расположенные перпендикулярно къ послѣдней. Рядъ наэлектризованныхъ тѣлъ, слѣдующихъ одно за другимъ и движущихся равномѣрно, обладаетъ свойствомъ электрическаго тока. Такимъ образомъ постоянный токъ можно разсматривать, какъ потокъ равноотстоящихъ электроновъ, движущихся равномѣрно, и перемѣнный токъ — какъ потокъ электроновъ, движущихся перемѣнно, или какъ потокъ неравноотстоящихъ электроновъ.

Если малыя наэлектризованныя тѣла движутся неравномѣрно, то создаваемое ими магнитное поле перемѣнно, вслѣдствіе чего имѣетъ мѣсто явленіе индукціи. Если малыя наэлектризованныя тѣла движутся періодически, то происходитъ явленіе свѣта. Каждое измѣненіе въ скорости наэлектризованнаго тѣла вызываетъ измѣненіе въ магнитномъ полѣ, что въ свою очередь измѣняетъ электрическое поле, и оба эти измѣненія въ эѳирѣ, распространяются со скоростью свѣта.

Пусть наэлектризованное тѣло движется равномѣрно, и въ данный моментъ мы увеличиваемъ его скорость. Вслѣдствіе соотношеній, существующихъ между электрическою и магнитною силами въ электромагнитномъ полѣ, нельзя ускорять движенія наэлектризованнаго тѣла безъ затраты энергіи. Дѣйствительно такое увеличеніе скорости имѣетъ слѣдствіемъ измѣненіе магнитнаго поля, вызывающее электрическую силу, которая такъ направлена, что уменьшаетъ ускореніе этого движенія Такимъ же образомъ уменьшеніе скорости наэлектризованнаго тѣла сопровождается развитіемъ электрической силы, препятствующей этому уменьшенію скорости наэлектризованной частицы. Въ общихъ случаяхъ электромагнитное явленіе таково, что симулируетъ инерцію, и тѣло вслѣдствіе лишь того, что оно наэлектризо-

вано, обладаетъ какъ бы большею, чѣмъ въ дѣйствительности, массою.

Сказанное о маломъ наэлектризованномъ тѣлѣ примѣняется и къ электрону; его масса, которая, какъ извѣстно, въ тысячу разъ меньше массы атома водорода, по крайней мѣрѣ, отчасти не дѣйствительная, а только кажущаяся.

Эта кажущаяся инерція, которую представляетъ наэлектризованное тѣло или электронъ, есть проявленіе *самонаведенія* въ случаѣ электрическаго тока. Дѣйствительно, если вмѣсто отдѣльнаго движущагося электрона мы имѣемъ цѣлый рядъ такихъ электроновъ, слѣдующихъ по одному пути и на малыхъ разстояніяхъ одинъ отъ другого, то они образуютъ электрическій токъ; увеличеніе или уменьшеніе скорости этихъ электроновъ вызываетъ увеличеніе или уменьшеніе числа электроновъ, проходящихъ въ единицу времени чрезъ данную точку ихъ пути, что соотвѣтствуетъ увеличенію или уменьшенію тока. Но что было сказано о дѣйствіи, вызываемомъ измѣненіемъ скорости отдѣльнаго наэлектризованнаго тѣла или отдѣльнаго электрона въ существенныхъ частяхъ примѣняется и ко всякому числу электроновъ, и потому всякое измѣненіе въ ихъ скорости вызываетъ силу, препятствующую этому измѣненію.

Всякое измѣненіе величины тока порождаетъ электродвижущую силу, противодѣйствующую этому измѣненію или порождающую новый токъ такого направленія, который бы уменьшалъ это измѣненіе. Это, какъ мы видимъ, есть *экстратокъ*, а его электродвижущая сила—*электродвижущая сила самонаведенія.*

Итакъ, мы видимъ, что будучи въ покоѣ, электроны обусловливаютъ электростатическія явленія; двигаясь равномѣрно, они вызываютъ явленія постояннаго тока и магнитизма; двигаясь неравномѣрно, они вызываютъ явленія электромагнитныя, и, наконецъ, двигаясь періодически, они вызываютъ явленія свѣта. Внезапное измѣненіе скорости электрона, имѣющее мѣсто напр. при столкновеніи, порождаетъ въ эѳирѣ электромагнитную волну, подобно тому, какъ взрывъ порождаетъ волну въ воздухѣ; по всей вѣроятности *X*-лучи суть проявленія подобныхъ волнъ.

Теперь мы поймемъ въ чемъ состоитъ новая гипотеза, по которой матерія построена изъ электроновъ. Прежде всего примемъ, что электроны не матерія въ обыкновенномъ смыслѣ слова, иначе говоря, они не имѣютъ иной массы кромѣ той кажущейся,

которая имъ присуща вслѣдствіе ихъ заряда и движенія; дѣйствительно, Кауфманъ нашелъ, что отношеніе между зарядомъ и массою движущагося электрона быстро возростаетъ по мѣрѣ того, какъ его скорость приближается къ скорости свѣта; а такъ какъ совершенно невѣроятно, чтобы зарядъ электрона измѣнялся, то остается допустить, что при этомъ его масса быстро увеличивается, и такой результатъ не стоитъ въ противорѣчіи съ гипотезою, по которой масса электрона электромагнитнаго происхожденія.

Ничего не препятствуетъ намъ предположить, что матерія, а слѣд. и всѣ извѣстныя тѣла состоятъ изъ собранія или системы электроновъ, ибо электроны вполнѣ симулируютъ инерцію, вслѣдствіе законовъ электромагнитнаго поля, и потому обнаруживаютъ основное свойство матеріи.

Такимъ образомъ мы можемъ принять, что матеріальный атомъ есть не что иное, какъ система извѣстнаго числа положительныхъ и такого же числа отрицательныхъ электроновъ; послѣдніе, всѣ или частью, движутся вокругъ положительныхъ, какъ спутники около планеты; послѣ этого частичныя и атомныя силы суть проявленія электромагнитныхъ силъ, дѣйствующихъ между такими электронами. Само тяготѣніе можетъ быть объяснено на основаніи такихъ представленій; попытки къ такимъ объясненіямъ уже дѣлались.

Если одинъ или нѣсколько отрицательныхъ электроновъ отдѣлить отъ атома, то получается положительный іонъ, тогда какъ присоединеніе одного или нѣсколькихъ отрицательныхъ электроновъ къ нейтральному атому даетъ отрицательный іонъ. Отношеніе различныхъ тѣлъ къ движущимся свободнымъ электронамъ, напр. въ случаѣ катодныхъ лучей, подтверждаетъ эту гипотезу; дѣйствительно, препятствіе, представляемое тѣломъ прохожденію электроновъ, или поглощеніе имъ катодныхъ лучей пропорціонально его плотности или пропорціонально числу образующихъ его электроновъ и независимо отъ способа ихъ группировки въ химическіе атомы разнаго рода.

Такимъ образомъ электроны, повидимому, суть строительные элементы въ архитектурѣ атома. Если такая гипотеза будетъ принята, то догматъ о неизмѣняемости химическаго атома или о непревращаемости химическихъ элементовъ долженъ быть устраненъ изъ науки, ибо по указанной гипотезѣ всѣ элементы

построены изъ однихъ и тѣхъ же электроновъ, а явленіе радіоактивности представляетъ уже примѣры подобнаго рода превращеній.

Радіоактивность и радіоактивныя вещества

Дж. Дж. Томсона [1].

1. *Новые лучи.*

Въ 1896 г. Беккерель открылъ, что уранъ и нѣкоторыя изъ его солей обладаютъ способностью испускать лучи, которые, какъ рёнтгеновскіе и катодные, дѣйствуютъ на фотографическія пластинки и дѣлаютъ проводящими пронизываемые ими газы. Въ 1898 г. Шмидтъ нашелъ, что торій обладаетъ подобными же свойствами. Эта способность испускать лучи называется радіоактивностью, а вещества, обладающія этою способностью,—радіоактивными веществами.

Замѣчательное свойство урана дало поводъ тщательно изслѣдовать большое число минераловъ, обладающихъ тѣмъ же свойствомъ, и супруги Кюри нашли, что нѣкоторые изъ нихъ, а именно смоляныя руды, обладаютъ большею радіоактивностью, чѣмъ уранъ при томъ же объемѣ, хотя уранъ составляетъ лишь малую часть этихъ рудъ. Это показывало, что смоляныя руды содержатъ вещество или вещества, которыя радіоактивнѣе, чѣмъ самъ уранъ; вслѣдствіе этого предпринята была работа съ цѣлью выдѣлить эти вещества. Трудною и очень продолжительною работою супругамъ Кюри съ помощью Бемона и Дебьерна удалось въ смоляной рудѣ найти три новыхъ радіоактивныхъ элемента, *радій*, соединенный въ рудѣ съ баріемъ и имѣющій съ нимъ большое сходство, *полоній*, соединенный съ висмутомъ, и

---

[1]) Переводъ изъ „Electricity and Matter" by *J. J. Thomson*, F. R. S.

актиній, соединенный съ торіемъ. Первый изъ этихъ элементовъ удалось изолировать и опредѣлить его атомный вѣсъ, который оказался равнымъ 225. Демарсе открылъ и изслѣдовалъ его спектръ. Полоній и актиній до сихъ поръ не удалось изолировать; также не удалось наблюдать ихъ спектровъ. Активность полонія оказалась скоропреходящею: она исчезаетъ чрезъ нѣсколько мѣсяцевъ послѣ изготовленія полонія.

Эти радіоактивныя вещества встрѣчаются не только въ рѣдкихъ рудахъ; воды многихъ глубокихъ источниковъ содержатъ радіоактивный газъ.

Свойства радіоактивныхъ веществъ настолько ясно выражены, что исчезающія малыя количества ихъ сравнительно легко обнаруживаются. Количество такого вещества, которое можно обнаружить, относится къ соотвѣтствующему количеству другого какого-нибудь элемента, обнаруживаемаго обыкновенными пріемами химическаго анализа, какъ секунда къ тысячелѣтію. Измѣненія, которыя въ неактивныхъ веществахъ становятся замѣтными лишь по истеченіи геологическихъ періодовъ, въ радіоактивныхъ веществахъ производятъ замѣтныя дѣйствія послѣ нѣсколькихъ секундъ.

2. *Характеръ лучей.*

Рутерфордъ нашелъ, что урановые лучи состоятъ изъ трехъ разныхъ типовъ лучей, которые онъ назвалъ α-, β- и γ-лучами; то же самое и къ лучамъ, испускаемымъ торіемъ.

Оказалось, что α-лучи очень легко поглощаются; они распространяются лишь на нѣсколько миллиметровъ въ воздухѣ обыкновеннаго давленія; β-лучи болѣе проникающіе, а γ-лучи обладаютъ наибольшею проникающею способностью. Изслѣдованія надъ вліяніемъ магнитныхъ и электрическихъ силъ на эти три типа лучей привели къ заключенію, что они совершенно различной природы. Беккерель показалъ, что β-лучи отклоняются электрическими и магнитными силами; изъ направленія отклоненія слѣдуетъ, что эти лучи несутъ отрицательные заряды. Рутерфордъ опредѣлилъ величину ε/m, т. е. отношеніе заряда къ массѣ носителей отрицательныхъ зарядовъ, и нашелъ, что оно

приблизительно $=10^7$; кромѣ того онъ нашелъ, что скорость нѣкоторыхъ β-лучей превосходитъ 2/3 скорости свѣта. Такимъ образомъ β-лучи состоятъ изъ частичекъ, движущихся со страшною скоростью.

Хотя α-лучи далеко не такъ легко отклоняются, тѣмъ не менѣе Рутерфордъ доказалъ, что они отклоняются, но въ сторону противоположную той, въ которую при тѣхъ условіяхъ отклоняются β-лучи; отсюда слѣдуетъ, что α-лучи несутъ положительные заряды. Измѣренія Рутерфорда дали для ε/m число 6.10^3 и для скорости 2.10^9 cm/sec. Величина ε/m показываетъ, что носители положительныхъ зарядовъ сравнимы съ обыкновенными атомами. Для водорода напр. $\varepsilon/m=10^4$ и для гелія $2{\cdot}5.10^3$. Громадная скорость, съ которою эти частички выбрасываются, сопряжена съ очень значительнымъ расходованіемъ энергіи, о чемъ мы еще будемъ говорить. Изъ величины ε/m вытекаетъ одно очень важное слѣдствіе, а именно, что выбрасываемыя частички не могутъ быть атомами радія. Слѣдовательно, радій долженъ быть соединеніемъ, содержащимъ болѣе легкіе элементы или атомъ радія долженъ распадаться на такіе элементы. Полученное для α-лучей значеніе ε/m указываетъ на существованіе газа болѣе тяжелаго, чѣмъ водородъ, и болѣе легкаго, чѣмъ гелій. Насколько извѣстно, γ-лучи не отклоняются ни магнитными, ни электрическими силами.

Радіоактивныя вещества очень сходны съ веществами, которыя подъ вліяніемъ рёнтгеновскихъ лучей испускаютъ вторичные лучи. Эти послѣдніе, какъ извѣстно, состоятъ изъ лучей типовъ β- и γ-лучей; а такъ какъ одна часть вторичныхъ лучей чрезвычайно легко поглощается, ибо не проходитъ въ воздухѣ болѣе немногихъ миллиметровъ, то весьма возможно, что при ближайшемъ изслѣдованіи вторичныхъ лучей между ними будутъ найдены и α-лучи. Въ виду этой аналогіи возникаетъ вопросъ, не освобождается ли энергія, когда тѣло освѣщается рёнтгеновскими лучами, какъ это имѣетъ мѣсто въ радіоактивныхъ тѣлахъ, ибо энергія, высылаемая освѣщаемыми тѣлами, больше энергіи рёнтгеновскихъ лучей, освѣщающихъ ихъ. Этотъ избытокъ энергіи получается отъ превращеній, происходящихъ въ атомахъ тѣла, подвергающагося дѣйствію рёнтгеновскихъ лучей. Это надо было бы изслѣдовать опытомъ, который, вѣроятно, откроетъ намъ средство внѣшнимъ воздѣйствіемъ вызывать то, что

радіоактивныя тѣла могутъ дѣлать самопроизвольно, т. е. освобождать энергію, заключенную въ атомѣ.

3. *Эманація радіоактивныхъ веществъ.*

Рутерфордъ открылъ, что торій выдѣляетъ нѣчто радіоактивное и увлекаемое потокомъ воздуха, какъ если бы это нѣчто было газомъ. Не затрогивая вопросъ объ аггрегатномъ состояніи вещества, выдѣляемаго торіемъ, Рутерфордъ назвалъ его *эманаціею*. Эманацію можно пропустить чрезъ воду или чрезъ самыя сильныя кислоты, ее можно нагрѣть до температуры бѣлаго каленія, но она ничего не теряетъ изъ своей радіоактивности. Такою инертностью эманація напоминаетъ газы аргонъ и гелій, изъ которыхъ послѣдній всегда встрѣчается вмѣстѣ съ торіемъ. Радіоактивность торія быстро исчезаетъ, падая до половины въ теченіе секунды.

Супруги Кюри нашли, что и радій выдѣляетъ активную эманацію, которая гораздо продолжительнѣе эманаціи торія, ибо падаетъ до половины лишь въ четверо сутокъ.

Мы имѣемъ полное право принять, что эманаціи суть радіоактивныя вещества въ газообразномъ состояніи; потокомъ воздуха эманаціи могутъ переноситься съ одного мѣста на другое; онѣ на подобіе газа диффундируютъ чрезъ пористыя стѣнки, и скорость ихъ диффузіи показываетъ, что онѣ обладаютъ очень значительною плотностью. Эманаціи постепенно диффундируютъ въ воздухѣ и въ другихъ газахъ. Рутерфордъ и г-жа Бруксъ опредѣлили коэффиціентъ диффузіи эманаціи радія въ воздухѣ и отсюда нашли, что плотность эманаціи около 80. Рутерфордъ и Содди сжижили эманацію радія. Однимъ словомъ гипотеза о газообразномъ состояніи эманацій выдерживаетъ всѣ испытанія. Конечно, эманаціи, нельзя обнаружить ни обыкновенными пріемами химическаго анализа, ни спектральнымъ анализомъ, но только потому, что онѣ получаются въ ничтожныхъ количествахъ, слишкомъ малыхъ для того, чтобы ихъ можно было обнаружить спектральнымъ анализомъ; этотъ пріемъ слишкомъ грубъ по сравненію съ электрическими пріемами, которые мы примѣняемъ къ радіоактивнымъ веществамъ. Думаю, что не преувеличу, если скажу, что электрическимъ пріемомъ можно съ

увѣренностью обнаружить такое количество радіоактивнаго вещества, которое въ сто тысячъ разъ меньше наименьшаго количества, обнаруживаемаго спектральнымъ анализомъ.

Каждая часть соли радія или торія даетъ эманацію, все равно находится-ли эта часть внутри или на поверхности соли, но эманація, развивающаяся внутри соли, не разлетается въ воздухѣ, а остается заключенною въ соли, гдѣ и накопляется. Если такую активную соль растворить въ водѣ, то въ началѣ происходитъ сильное выдѣленіе эманаціи, которая была собрана въ твердой соли. Эманацію можно выгнать изъ воды, нагрѣвъ послѣднюю до кипѣнія или пропуская чрезъ воду пузырьки воздуха; эманацію, собравшуюся въ твердой соли, можно выгнать сильнымъ нагрѣваніемъ послѣдней.

4. *Наведенная радіоактивность.*

Рутерфордъ открылъ, что тѣла, пробывшія нѣкоторое время въ эманаціи торія, становятся радіоактивными; почти одновременно супруги Кюри открыли: что и эманація радія обладаетъ тѣмъ же свойствомъ. Это явленіе называется *наведенною радіоактивностью.*

Въ количественномъ отношеніи наведенная радіоактивность не зависитъ отъ природы тѣла, въ которомъ она наведена: въ соприкосновеніи съ эманаціею торія и радія, какъ бумага, такъ и металлъ пріобрѣтаютъ одинаково сильную активность.

Наведенная активность особенно развивается въ тѣлахъ, заряженныхъ отрицательно. Если эманація находится въ закрытомъ сосудѣ, въ который опущена проволока, заряженная отрицательно, то эманація сосредоточивается въ этой проволокѣ; если въ эманаціи опустить двѣ проволоки, изъ коихъ одна заряжена отрицательно, а другая не заряжена, то въ первой наведенная активность сильнѣе, чѣмъ во второй. То обстоятельство, что наведенная активность не зависитъ отъ природы тѣла, въ которомъ она наведена, указываетъ на то, что активность тѣла обусловливается радіоактивнымъ веществомъ, которое выдѣляется изъ эманаціи и осѣдаетъ на соприкасающееся съ нею тѣло.

Другое доказательство этому представляетъ опытъ г-жи

Гэтсъ, состоящій въ томъ, что при нагрѣваніи тонкой проволоки ея наведенная активность исчезаетъ и осѣдаетъ на поверхность окружающихъ тѣлъ.

Наведенныя активности, получаемыя изъ эманаціи торія и радія, рѣзко различаются; активность эманаціи торія падаетъ до половины въ одну минуту, а наведенная ею активность употребляетъ на это около одиннадцати часовъ. Эманація радія, долѣе сохраняющаяся, чѣмъ эманація торія (ибо падаетъ до половины въ четверо сутокъ), образуетъ гораздо менѣе продолжительную наведенную активность: до половины она падаетъ въ 40 m. Эманація актинія существуетъ всего нѣсколько секундъ, но наведенная его активность длится столько же, какъ радіевая.

5. *Активныя части, выдѣляемыя торіемъ.*

Рутерфордъ и Содди доказали, что активность торія обусловливается тѣмъ, что торій переходитъ въ вещество, которое они назвали *Th-X*, и которое простыми химическими пріемами можетъ быть отдѣлено отъ торія; но послѣ этого торій теряетъ бóльшую часть своей активности, которая обнаруживается въ *Th-X*. Активность этого послѣдняго медленно убываетъ, а активность торія наоборотъ возростаетъ и, наконецъ, достигаетъ начальнаго значенія; къ тому же времени, активность *Th-X* исчезаетъ; время, въ теченіе котораго активность *Th-X* падаетъ до половины какъ разъ равно тому, въ теченіе котораго активность торія возростаетъ до половины своего прежняго значенія. Все это говоритъ въ пользу того предположенія, что радіоактивная часть торія есть торій-*X*, который непрерывно образуется самимъ торіемъ. Послѣ этого ясно, что если бы активность *Th-X* была постоянна, то активность торія непрерывно возростала бы; но активность торія-*X* постепенно исчезаетъ, вслѣдствіе этого активность смѣси не можетъ безгранично возростать, но достигаетъ постояннаго значенія, когда приращеніе активности вслѣдствіе вновь образующагося *Th-X* уравновѣшивается потерею активности уже имѣющагося количества *Th-X*. Теперь спрашивается, что же дѣлается съ торіемъ-*X* и эманаціею, когда они потеряютъ свою активность. Этотъ вымершій торій-*X* посте-

пенно скопляется въ торіѣ; но, такъ какъ онъ уже потерялъ свою активность, у насъ остаются только обыкновенные методы химическаго анализа; а такъ какъ эти послѣдніе безконечно менѣе чувствительны тѣхъ методовъ, которыми мы пользуемся при радіоактивныхъ веществахъ, то требуются почти геологическіе періоды, чтобы вымершій торій-X скопился въ такомъ количествѣ, которое могло бы быть обнаружено обыкновенными химическими пріемами. Тщательное изслѣдованіе рудъ, въ которыхъ встрѣчаются торій и радій, можетъ быть, разъяснитъ многое въ этомъ отношеніи. Замѣчательно, что эти руды почти всегда содержатъ гелій.

Рутерфордъ и Содди обратили вниманіе на то, что радіоактивность находится въ тѣсной связи съ тѣми превращеніями, которыя происходятъ въ радіоактивныхъ веществахъ. Такъ въ торіѣ, наиболѣе изученномъ имѣемъ сначала превращеніе торія въ торій-X, затѣмъ превращеніе торія X въ эманацію и въ вещество, образующее α-лучи. Радіоактивность эманаціи сопровождается новыми превращеніями, къ продуктамъ коей принадлежитъ вещество, образующее наведенную активность.

По этому взгляду вещество, пока оно радіоактивно, непрерывно переходитъ изъ одного состоянія въ другое. Энергія, освобождающаяся при этихъ превращеніяхъ, можетъ быть достаточною, чтобы доставить то количество энергіи, которое излучается радіоактивными веществами. Какъ велика энергія, выдѣляемая радіоактивными тѣлами, показываютъ опыты, которые супруги Кюри дѣлали съ солями радія. Они нашли, что развиваемая этими солями энергія, будучи поглощаема самою солью, достаточна для непрерывнаго поддержанія въ ней температуры, которая замѣтно выше температуры окружающаго пространства. Въ одномъ изъ опытовъ разница была въ 1·5° Ц. Измѣренія Кюри показали, что граммъ радія выдѣляетъ въ часъ столько энергіи, которая достаточна для того, чтобы такой же вѣсъ воды нагрѣть отъ 0° до 100°. Это выдѣленіе тепла происходитъ непрерывно и, повидимому, безъ ослабленія. Но если высказанный нами взглядъ вѣренъ, то эта энергія происходитъ изъ превращенія радія въ иныя формы матеріи; слѣдовательно, ея развитіе должно прекратиться, когда весь запасъ радія исчерпается, если только этотъ запасъ не пополняется постоянно превращеніемъ другихъ элементовъ въ радій.

Мы можемъ теперь опредѣлить продолжительность жизни радія. Мы примемъ, что теплота, измѣренная Кюри, обусловливается бомбардировкою соли радія α-частицами, и для приблизительной оцѣнки продолжительности жизни радія допустимъ, что вся масса радія превращается въ α-частицы (въ дѣйствительности, какъ мы знаемъ кромѣ того возникаетъ еще эманація). Пусть продолжительность жизни одного грамма радія равна x часамъ; такъ какъ граммъ радія выдѣляетъ въ 1 часъ 100 gr.-cal. или $4{\cdot}2.10^5$ Erg., то количество энергіи, которое радій выдѣляетъ въ теченіе всей своей жизни, равно $x.4{\cdot}2.10^9$ Erg. Если чрезъ N назовемъ число α-частицъ, выбрасываемыхъ за это время, m — выраженную въ граммахъ массу отдѣльныхъ частицъ и v ихъ скорость, то можемъ написать

$$\frac{Nmv^2}{2} = x.\ 4{\cdot}2.\ 10^9$$

Но если граммъ радія обращается въ α-частицы, то $Nm = 1$, а по опытамъ Рутерфорда $v = 2.10^9$. Слѣд.

$$x = \frac{1}{2}\,\frac{4.10^{18}}{4{\cdot}2.10^9} = \frac{10^9}{2{\cdot}1} \text{ часовъ}$$

ихъ приблизительно 50000 лѣтъ.

Итакъ продолжительность жизни какого-нибудь количества радія порядка въ 50 тысячъ лѣтъ. Мы не можемъ ожидать, чтобы въ промежутокъ нѣсколькихъ мѣсяцевъ произошло какое-нибудь доступное измѣренію измѣненіе. Въ теченіе всей своей жизни граммъ радія выдѣляетъ около 5.10^{10} gr.-cal. тепла. Если же энергія обусловливается превращеніями, происходящими въ радіѣ, то при этихъ превращеніяхъ развивается гораздо больше энергіи, чѣмъ при какой-либо другой изъ извѣстныхъ химическихъ реакціяхъ. По принятой теоріи разница между процессами въ радіи и обыкновенными химическими реакціями заключается въ томъ, что послѣднія суть явленія малекулярныя, тогда какъ первыя — атомистическія и состоятъ въ распаденіи элементовъ.

Для объясненія процессовъ въ радіѣ примемъ, что въ атомѣ его заключаются электроны, быстро обращающіеся около центра; при извѣстномъ расположеніи они находятся въ устойчивомъ

равновѣсіи; но это расположеніе оказывается неустойчивымъ и переходитъ въ другое, когда энергія падаетъ ниже извѣстнаго значенія. Модель такого атома представляетъ гироскопъ, вращающійся около своей вертикальной оси; онъ устойчивъ въ вертикальномъ положеніи, когда обусловливаемая его вращеніемъ энергія превосходитъ извѣстное значеніе; когда эта энергія, постепенно уменьшаясь, достигаетъ критической величины, то гироскопъ дѣлается неустойчивымъ и опрокидывается, при чемъ развиваетъ значительное количество кинетической энергіи.

Прослѣдимъ что дѣлается съ такимъ атомомъ, который устойчивъ въ извѣстной конфигураціи равномѣрнаго движенія, когда кинетическая энергія его электроновъ превосходитъ извѣстный предѣлъ, но который дѣлается неустойчивымъ и переходитъ въ другую конфигурацію, когда кинетическая энергія опускается ниже этого предѣла. Положимъ, что сначала атомъ обладаетъ количествомъ энергіи, которое много больше этой критической величины. Вслѣдствіе излученія быстро движущихся электроновъ ихъ кинетическая энергія уменьшается, но, пока движеніе остается равномѣрнымъ, энергія теряется очень медленно, и могутъ пройти тысячи лѣтъ, пока энергія не достигнетъ критическаго значенія. Но когда энергія приближается къ этому значенію, то движеніе легко нарушается и по всей вѣроятности происходятъ значительныя уклоненія отъ конфигураціи равномѣрнаго движенія, сопровождаемыя значительнымъ увеличеніемъ скорости; теперь атомъ испускаетъ гораздо больше лучей и кинетическая энергія быстро достигаетъ критическаго значенія. Когда это значеніе достигнуто, наступаетъ катастрофа: первоначальная конфигурація распадается, потенціальная энергія системы быстро уменьшается, а кинетическая энергія электроновъ настолько же увеличивается. Приращеніе скорости электроновъ можетъ имѣть слѣдствіемъ, что атомъ распадается на двѣ или на большее число системъ, что даетъ себя знать испусканіемъ α-лучей и эманаціи.

Если атомы эманаціи того же типа, какъ первоначальные атомы, т. е. такіе, въ которыхъ конфигураціи для равномѣрнаго движенія зависятъ отъ его кинетической энергіи, то въ эманаціи повторяются тѣ же процессы, но въ болѣе короткое время; они повторяются и въ другихъ радіоактивныхъ веществахъ, происходящихъ изъ эманаціи.

Мы приняли, что энергія, выдѣляемая радіемъ и другими

активными веществами, имѣетъ внутреннее происхожденіе, а именно она обусловливается измѣненіями строенія атома. Такъ какъ такого рода превращенія до сихъ поръ не были извѣстны, то важно обсудить вопросъ, какіе другіе источники могли бы давать эту энергію. Одинъ изъ такихъ источниковъ находится внѣ радія. Можно именно принять, что радій получаетъ свою энергію поглощеніемъ нѣкоторыхъ лучей, которые свободно проходятъ чрезъ всѣ земныя тѣла, но поглощаются радіоактивными тѣлами. Эти лучи должны быть очень проникающими, если радій активенъ даже когда заключенъ въ толстую свинцовую оболочку или сохраняется въ глубокомъ погребѣ.

Намъ извѣстны рёнтгеновскіе лучи и лучи, испускаемые самимъ радіемъ, которые, оказываютъ замѣтныя дѣйствія, пройдя слой свинца въ нѣсколько дюймовъ толщины; такимъ образомъ предположеніе о существованіи еще болѣе проникающихъ лучей не такъ невѣроятна, какъ еще недавно могло казаться.

Достойно вниманія, что еще Лесажъ, болѣе ста лѣтъ тому назадъ, для объясненія тяготѣнія принималъ существованіе очень проникающихъ лучей. Лесажъ представлялъ себѣ, что весь міръ наполненъ чрезвычайно малыми частицами, которыя движутся съ чрезвычайно большими скоростями; онъ называлъ ихъ ультраміровыми тѣльцами (corpuscula ultramundana) и приписывалъ имъ такую способность проникать, что онѣ даже солнце и планеты проходятъ, не испытывая замѣтнаго поглощенія. Въ малой степени они все-таки поглощаютя и отдаютъ часть своего движенія тѣмъ тѣламъ, чрезъ которыя проходятъ. Если бы эти тѣльца, проходящія чрезъ данное тѣло, были распредѣлены равномѣрно по всѣмъ возможнымъ направленіямъ, то они не стремились бы привести его въ движеніе скорѣе по одному направленію, чѣмъ по другому. Такимъ образомъ если бы во вселенной было одно только тѣло A, то оно — подъ вліяніемъ бомбардировки лесажевскихъ тѣлецъ — оставалось бы въ покоѣ. Но если бы вблизи тѣла A находилось еще второе тѣло B, то оно задержало бы нѣкоторыя изъ тѣлецъ, движущихся по направленію BA, и тѣло A по одному направленію не получало бы такого количества движенія, которое оно получило бы, если бы было одно въ полѣ; въ послѣднемъ случаѣ наше тѣло по этому направленію получило бы лишь такое количество движенія, какое необходимо для поддержанія его равновѣсія. Если же присут-

ствуетъ тѣло B, то количество движенія противоположнаго направленія преодолѣваетъ, такъ что B движется по направленію BA, т. е. тѣло B притягивается тѣломъ A.

Максвелль обратилъ вниманіе на то, что если лесажевскія тѣльца передаютъ свое количество движенія пронизываемому тѣлу, то кинетическая энергія тѣлецъ должна бы уменьшиться и для объясненія тяготѣнія настолько уменьшиться, что тяготѣющее тѣло при этимъ раскалилось бы до-бѣла. То обстоятельство, что тѣла не раскаляются, было выставлено Максвеллемъ, какъ аргументъ противъ теоріи Лесажа. Но нѣтъ необходимости принимать, что энергія тѣлецъ переходитъ въ теплоту; можно допустить, что она превращается въ сильно проникающіе лучи, испускаемые тяготѣющимъ тѣломъ. Можно доказать, что въ одномъ граммѣ тяготѣющаго тѣла превращается гораздо больше кинетической энергіи, чѣмъ сколько за то же время отдаетъ одинъ граммъ радія.

Извѣстно, что волны электрической и магнитной силы обладаютъ нѣкоторымъ количествомъ движенія по направленію своего распространенія. Поэтому мы можемъ лесажевскія тѣльца замѣнить чрезвычайно проникающими рёнтгеновскими лучами; если они поглощаются пронизываемымъ тѣломъ, то сообщаютъ ему нѣкоторое количество движенія; а тогда можно доказать, что два тѣла взаимно притягиваются съ силою обратно пропорціональною квадрату ихъ разстоянія. Если поглощеніе этихъ волнъ единицею объема зависитъ только отъ плотности и пропорціонально ей, то сила взаимнаго притяженія тѣлъ должна быть пропорціональна произведенію изъ ихъ массъ. Слѣдуетъ отмѣтить, что по этой теоріи возмущенія въ тяготѣніи распространялись бы со скоростью свѣта, тогда какъ астрономы полагали, что они распространяются съ гораздо большею скоростью.

Какъ въ случаѣ лесажевскихъ тѣлецъ, такъ и въ случаѣ рёнтгеновскихъ лучей потеря количества движенія связано съ потерею энергіи. На каждую единицу количества терялось бы v единицъ энергіи, если v означаетъ скорость свѣта. Если бы эта энергія превращалась въ энергію лучей того же рода, какъ и падающіе лучи, то, какъ легко видѣть, поглощеніе не вызывало бы тяготѣнія. Такое притяженіе возникаетъ лишь въ томъ случаѣ, если преобразованные лучи обладаютъ большею способностью проникать, чѣмъ первоначальные. Такимъ образомъ, если

бы эти лучи обусловливали тяготѣніе, то ихъ энергія должна бы быть на столько велика, чтобы испускаемая радіемъ энергія была ничтожна сравнительно съ тою, которая превращается внутри радія. Изъ этихъ соображеній слѣдуетъ, что размѣръ испускаемой радіемъ энергіи не можетъ служить убѣдительнымъ аргументомъ противъ допущенія, что эта энергія зависитъ отъ лучеиспусканія. Основаніе, по которому я принимаю, что источникъ энергіи заключается въ самомъ атомѣ радія, а не лежитъ внѣ его, заключается въ томъ обстоятельствѣ, что радіоактивность во всѣхъ случаяхъ, когда мы можемъ ее локализировать, есть быстро преходящее свойство. Нѣтъ тѣла, которое бы долгое время было радіоактивнымъ. Но какъ же согласить это утвержденіе съ тѣмъ, что активность торія и радія съ теченіемъ времени не ослабѣваетъ замѣтнымъ образомъ? Отвѣтъ заключается въ томъ, что—какъ это Рутерфордъ и Содди доказали для торія — радіоактивною бываетъ всегда лишь крайне ничтожная часть массы и что эта радіоактивная часть теряетъ свою активность въ теченіе нѣсколькихъ секундъ и затѣмъ замѣняется новою активною массою, образующеюся изъ неактивнаго торія. Всѣ описанныя нами радіоактивныя вещества — торій-*X*, эманаціи торія и радія, вещества, обладающія наведенною активностью, активны не долѣе нѣсколькихъ дней, а затѣмъ теряютъ это свойство. Такъ и слѣдовало ожидать, если принять, что причина радіоактивности есть превращеніе внутри атома; и, напротивъ, нельзя допустить, если радіоактивность имѣетъ внѣшній источникъ, напримѣръ лучи.

Пасхальное засѣданіе Французскаго Физическаго Общества въ 1905 г.

Э. Ротэ[1].

Научная и техническая выставка.

Повидимому все вниманіе было обращено на выставку улицы Гэ-Люссака; выставка въ постоянномъ помѣщеніи Общества (rue de Rennes) очень мало посѣщалась; къ тому же здѣсь показывалось немного опытовъ.

Бьюссонъ объяснялъ методъ Масе-де-Лепине, недавно умершаго профессора Марсельскаго факультета, для измѣренія толщинъ. Свое изложеніе я заимствую изъ брошюры Фабри, посвященной жизни и трудамъ ученаго.

Убѣдившись, что толщину въ нѣсколько центиметровъ можно измѣрить съ точностью до одной стомилліонной, Масе-де-Лепине взялся за очень важную задачу: *точно измѣрить массу одного кубическаго дециметра воды.*

Основатели метрической системы имѣли въ виду дать килограмму массу въ точности равную массѣ куб. дециметра воды. Насколько это имъ удалось? Несмотря на все уваженіе къ ихъ великому дѣлу, можно надѣяться, что послѣ вѣкового научнаго прогресса, измѣренія будутъ точнѣе. Нѣкоторые ученые утверждали, что первоначальныя измѣренія были очень неточны, и результатъ могъ содержать ошибку въ нѣсколько дециграммовъ. Насколько основательны эти песимистическія мнѣнія? Дѣло было, конечно, не въ томъ, чтобы измѣнить одну изъ основныхъ единицъ нашей системы измѣреній, теперь всѣми принятой; и каковъ бы ни былъ результатъ этихъ новыхъ измѣреній,

---

[1]) Окончаніе; см. стр. 176.

можно и впредь говорить въ школахъ, что куб. дециметръ воды вѣситъ килограммъ, и пользоваться этимъ опредѣленіемъ въ обычныхъ вычисленіяхъ; но во многихъ научныхъ изслѣдованіяхъ необходимо точно знать массу нашего килограмма, хотя бы ошибка и не превышала одной стомилліонной.

Для рѣшенія задачи Масе-де-Лепине пришлось вернуться къ своимъ прежнимъ опытамъ, которые онъ дѣлалъ въ 1887 г.; но тогда длина свѣтовой волны не была еще точно измѣрена; теперь же она извѣстна и потому, размѣры кварцеваго куба (приблизительно 4 cm. въ сторонѣ) можно измѣрить числомъ свѣтовыхъ волнъ и слѣд. выразить въ центиметрахъ, а объемъ его—въ куб. центиметрахъ; если кромѣ того опредѣлить еще массу вытѣсняемой имъ воды, то легко уже вычислить массу воды въ единицѣ объема. Всѣ эти опыты заняли два года времени. Въ результатѣ оказалось, что куб. дециметръ воды вѣситъ 0·999954 kgr.

Съ того времени было сдѣлано не мало успѣховъ; такъ въ оптикѣ введено употребленіе монохроматическаго свѣта, испускаемаго свѣтящими газами. Въ 1899 г. Перо и Фабри предложили Масе-де-Лепине вмѣстѣ съ ними вновь измѣрить его кварцевый кубъ; онъ съ радостью принялъ это предложеніе; результатомъ этихъ измѣреній было, что куб. дециметръ воды вѣситъ 0·999974. Разница отъ прежнихъ измѣреній ничтожная, которую можно бы приписать случайнымъ ошибкамъ. Но Масе-де-Лепине отнесся иначе къ дѣлу и цѣлыхъ два года размышлялъ надъ источникомъ ошибокъ второго способа. Наконецъ, онъ убѣдился, что показатель преломленія опредѣлялся не достаточно точно, такъ какъ лучшій изъ раздѣленныхъ круговъ грубый приборъ по сравненію съ неподражаемымъ микрометромъ, представляемымъ лучомъ свѣта. Послѣ этого Масе-де-Лепине рѣшилъ опредѣлить показатель преломленія исключительно изъ явленій интерференціи.

Къ несчастію смерть прервала дѣятельность Масе-де-Лепине, и работу окончатъ его товарищи.

Коттонъ выставилъ приборы для разсматриванія ультрамикроскопическихъ предметовъ (Физ. Обозр. т. 5, стр. 57).

Ротэ показывалъ мегаскопъ, приспособленный къ демонстрированію его цвѣтныхъ фотографій (Физ. Обозр. т. 6, стр. 1). Приготовленіе пластинокъ требуетъ нѣкоторыхъ предосторож-

ностей. Желатину надо наливать при температурѣ не выше 35°, иначе получается слишкомъ тонкій слой, и красный цвѣтъ выходитъ очень плохо; пластинка должна быть сенсабилизирована (смѣсью ціанина, краснаго глицина и малахитовой зелени).

Кюри повторялъ свои интересные опыты съ наведенною радіоактивностью.

Ковальскій демонстрировалъ свой передатчикъ (radiotransmetteur des charges électriques). Ему удалось электролитически осадить радій на амальгамированный дискъ (изъ раствора бромистаго барія, содержащаго радій); затѣмъ этотъ дискъ покрывается лакомъ. Если такой передатчикъ, соединенный съ землею, помѣстить передъ другимъ дискомъ, заряженнымъ до нѣкотораго потенціала, то по промежуточному слою воздуха будетъ итти токъ пропорціональный потенціалу послѣдняго диска.

Ланжевенъ и Муленъ выставили свой *счетчикъ атмосферныхъ іоновъ*, съ которымъ они дѣлаютъ наблюденія на вершинѣ Эйфелевой башни. Оказалось, что содержаніе іоновъ въ атмосферѣ измѣняется непрерывно и очень быстро.

Приборъ устроенъ слѣдующимъ образомъ. Воздухъ изъ аспиратора поступаетъ въ цилиндрическій конденсаторъ, обкладки котораго заряжены до опредѣленной разности потенціаловъ; послѣ прохожденія опредѣленнаго объема воздуха (10 литровъ), разность потенціаловъ опять измѣряютъ; измѣненіе заряда конденсатора опредѣляетъ число іоновъ осѣвшихъ на обкладки конденсатора; теорія прибора показываетъ условія, при которыхъ всѣ іоны протекшаго воздуха улавливаются обкладками конденсатора.

Фирма Кальмельса (H. Calmels) выставила целулоидный отпечатокъ диффракціонной рѣшетки Роланда (560 линій въ миллиметрѣ); несмотря на свою дешевизну (25 фр.) эти рѣшетки даютъ очень чистые и яркіе спектры до 8-го порядка. Рѣшетку можно наложить на призму съ острымъ угломъ, которая даетъ à vision directe спектръ перваго порядка, что чрезвычайно облегчаетъ опыты съ проложеніями и въ то же время не измѣняетъ нормальнаго спектра.

Та же фирма выставила коллекцію цвѣтныхъ экрановъ; монохроматическій зеленый экранъ, пропускающій лишь лучи

близкіе къ линіи солнечной короны ($\lambda=530$), предназначается для наблюденій солнечнаго затменія 30 августа.

Гомонъ (Gaumont) демонстрировалъ новый приборъ — хронофонъ, представляющій соединеніе фонографа и кинематографа; обѣ записи дѣлаются одновременно на томъ и другомъ приборахъ, вращающихся съ одною скоростью; такъ напр. фотографировали пѣвца—всѣ движенія его губъ — и въ то же время записывали его пѣніе; получалось удивительное согласіе.

Лучшими пирометрами считались до сихъ поръ термо-электрическіе. Но эти пирометры не постоянны, такъ какъ подъ дѣйствіемъ сильнаго нагрѣванія спай испытываетъ физическія и химическія измѣненія; къ тому же при высокой температурѣ тугоплавкая оболочка, въ которую помѣщаютъ обыкновенно спай, становится проводящею; вслѣдствіе всего этого измѣренія съ подобнымъ пирометромъ несравнимы между собою. Для избѣжанія всѣхъ этихъ недостатковъ Фери устроилъ *пирометрическій телескопъ;* это катоптрическій телескопъ, зеркало котораго сдѣлано изъ стекла, покрытаго съ передней стороны слоемъ золота; въ фокусѣ этого зеркала помѣщается спай (изъ мѣди и константана), который никогда не нагрѣвается выше 80° Ц. и потому не измѣняется; возбуждаемый такимъ образомъ слабый токъ пропускается чрезъ чувствительный гальванометръ, градуированный на температуры. Градуированіе дѣлается по слѣдующимъ соображеніямъ: изъ отверстія топящейся печи, какъ изъ чернаго тѣла, излучается теплота пропорціональная четвертой степени ея абсолютной температуры (законъ Стéфана); если на это отверстіе направить пирометрическій телескопъ, то часть теплоты, излучаемой отверстіемъ печи, попадаетъ въ телескопъ и отражается зеркаломъ на спай; показаніе гальванометра должно быть пропорціонально четвертой степени искомой температуры.

Société centrale de Produits chimiques выставило нѣсколько электрометровъ Кюри. Въ модели 1905 г. серебрянная нить замѣнена кварцевою (короткою); затуханіе достигается воздухомъ (успокаивающій магнитъ устраненъ); для изоляціи употребляется амброидъ (а не эбонитъ); чувствительность такова, что въ разстояніи 1 m. одинъ вольтъ даетъ отклоненіе въ 1 m.

Лекціи.

Во время пасхальныхъ засѣданій былъ прочитанъ рядъ лекцій; мы остановимся только на одной.

Термодинамика и кинетическія теоріи.

Лекція Г. Лоренца [1]).

Въ математической физикѣ для объясненія явленій матеріальнаго міра пользуются двумя родами теорій, которыя различаются и по своей сущности и по преслѣдуемымъ цѣлямъ. Теоріи одного рода—кинетическія теоріи отыскиваютъ законы движенія атомовъ и частицъ, къ которымъ надо теперь прибавить іоны и электроны; все это совершенно чуждо теоріямъ второго рода—термодинамическимъ, въ которыхъ разсматриваются только температуры и количества тепла. Лоренцъ представляетъ свои соображенія по поводу обѣихъ теорій и старается найти ихъ взаимное отношеніе и доказать согласіе кинетическихъ теорій съ принципами термодинамики.

Изученіе тепловыхъ явленій въ цѣломъ рядѣ случаевъ показываетъ, что часто одна теорія легко предусматриваетъ то, что недоступно другой. Всѣмъ извѣстно значеніе кинетической теоріи въ дѣлѣ опредѣленія скоростей атомовъ: скорость эта тѣмъ больше, чѣмъ выше температура. Термодинамика предсказала вліяніе давленія на температуру замерзанія и опредѣляетъ измѣненія температуры при адіабатномъ процессѣ. За то кинетическая теорія объясняетъ намъ теплопроводность. Майкельсонъ объяснилъ ширину спектральныхъ линій и измѣненіе ихъ, основываясь на кинетической теоріи. Ясно, что обѣ теоріи одинаково твердо обоснованы, и потому, казалось бы, между ними не должно было быть антагонизма. Слѣдуетъ думать, что изъ кинетическихъ теорій можно вывести все то, что выводится изъ второго закона термодинамики, т. е. изъ принципа Карно. Мож-

---

[1]) La Thermodynamique et les théories cinétiques par *H. A. Lorentz.*

но à priori принять, что нѣтъ надобности доказывать это согласіе во всѣхъ частныхъ случаяхъ; второй законъ долженъ вѣдь соотвѣтствовать общимъ свойствамъ молекулярнаго движенія; достаточно поэтому доказать возможность выводовъ изъ второго закона, которые были бы въ согласіи съ механизмомъ молекулярной системы.

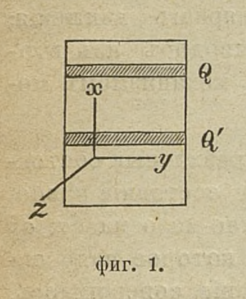
Матеріальная система можетъ принимать различныя состоянія. Введемъ параметры α, β и γ, опредѣляющіе состояніе равновѣсія; если эти параметры измѣнить безконечно-мало на $d\alpha$, $d\beta$ и $d\gamma$, то соотвѣтствующее количество тепла, которое надо сообщить системѣ для того, чтобы это измѣненіе совершилось, можно представить такъ:

$$dQ = Ad\alpha + Bd\beta + Cd\gamma,$$

гдѣ A, B и C суть функціи независимыхъ параметровъ α, β и γ. Если это выраженіе раздѣлить на абсолютную температуру, T, то — по второму закону — мы получимъ полный дифференціалъ. Для обнаруженія согласія съ кинетическими теоріями, надо доказать, что можно объяснить факты, на которыхъ основывается понятіе о температурѣ. Если имѣются такія три системы a, b и c, что не происходитъ обмѣна тепла, когда a приведена въ соприкосновеніе съ c и когда b приведена въ соприкосновеніе съ c, то системы a и b находятся въ равновѣсіи; отсюда вытекаетъ понятіе о равныхъ температурахъ. Вотъ фактъ, который слѣдуетъ объяснить механическими соображеніями.

До сихъ поръ это сдѣлано лишь въ простѣйшихъ случаяхъ. Такъ напр. Гельмгольцъ разсматривалъ моноциклическія системы, въ которыхъ движеніе опредѣляется одною перемѣнною — скоростью. А Максвелль указалъ статистическій методъ; такъ какъ нельзя слѣдить за каждою частицею, то онъ собираетъ въ одну группу всѣ частицы, обладающія однимъ движеніемъ; опредѣляя число частицъ въ каждой группѣ, онъ объясняетъ участіе, какое разныя группы принимаютъ въ общемъ движеніи. Этимъ путемъ можно доказать, что средняя кинетическая энергія отдѣльной частицы имѣетъ одно значеніе во всѣхъ тѣлахъ, и что это значеніе пропорціонально абсолютной температурѣ T; кинетическую энергію можно принять $= aT$, гдѣ a совершенно постоянная величина. Такимъ образомъ въ статистическомъ ме-

тодѣ скорости самымъ элементарнымъ способомъ приводятъ къ понятію о температурѣ.



фиг. 1.

Разсмотримъ одинъ примѣръ. Пусть въ цилиндрическомъ сосудѣ (фиг. 1) заключенъ газъ, подверженный дѣйствію силы тяжести. Какое стаціонарное состояніе установится въ такой системѣ?

Термодинамика имѣетъ готовый отвѣтъ. Она требуетъ, чтобы температура была повсюду одинакова, ибо иначе можно было бы вообразить себѣ такой опытъ, при которомъ — вопреки принципу Карно-Клаузіуса — теплота переносилась бы отъ холоднаго тѣла къ теплому.

Этотъ выводъ, повидимому, трудно согласить съ кинетическою теоріею. Дѣйствительно, съ перваго взгляда казалось бы, что можно разсуждать слѣдующимъ образомъ: одна частица, опускаясь подъ дѣйствіемъ силы тяжести, пріобрѣтаетъ ускорительное движеніе, а другая, поднимаясь, уменьшаетъ свою скорость; слѣдовательно, въ нижней части столба будутъ встрѣчаться бóльшія скорости, чѣмъ въ верхнихъ частяхъ, иначе говоря у основанія столба температура будетъ выше, чѣмъ у его вершины, ибо средняя живая сила частицъ опредѣляетъ температуру.

Къ счастію это затрудненіе легко устранить. Максвелль показалъ, что, замѣняя это поверхностное разсужденіе болѣе точнымъ, основаннымъ на статистическомъ методѣ, приходимъ къ постоянству температуры во всемъ столбѣ.

Я приведу рѣшеніе Максвелля и укажу способъ провѣрки. Возьмемъ взаимно перпендикулярныя оси координатъ, изъ коихъ ось x направимъ вверхъ, и назовемъ u, v, w составляющія скорости одной изъ частицъ и g ускореніе силы тяжести. Пусть dx толщина горизонтальнаго слоя Q, помѣщающагося на высотѣ x; хотя этотъ слой безконечно тонокъ, но онъ содержитъ огромное число частицъ. Между этими частицами имѣется извѣстное число ихъ, для которыхъ первая составляющая заключается въ предѣлахъ отъ u до $u+du$, вторая—отъ v до $v+dv$ и третья — отъ w до $w+dw$; промежутки du, dv и dw чрезвычайно малы сравнительно съ самими скоростями, но достаточно велики для

того, чтобы группа частицъ, къ которой онѣ относятся, была все еще очень многочисленна. Послѣ этого можно сказать, что число частицъ N этой группы, находящихся въ извѣстный моментъ въ слоѣ dx, опредѣляется формулою:

$$N = Ae^{-2ghx} e^{-h(u^2+v^2+w^2)} du\, dv\, dw\, dx, \qquad (1)$$

гдѣ A и h постоянныя.

Можетъ показаться, что это выраженіе сложно; но, если подумать, что оно одно включаетъ въ себѣ всю статистику частичныхъ движеній и позволяетъ въ точности указать состояніе газа на любой высотѣ, то слѣдуетъ признать, что формула очень проста.

Обратимся теперь къ провѣркѣ. Благодаря множителю $e^{-h(u^2+v^2+w^2)}$, состояніе, представленное предыдущею формулою, отличается тою особенностью, что оно не измѣняется взаимными ударами частицъ. Я не буду этого доказывать, но воспользуюсь этою теоремою для того, чтобы не разсматривать ударовъ. Тогда, принимая, что каждая частица можетъ свободно слѣдовать по своему пути, остается только доказать, что состояніе не измѣняется и дѣйствіемъ силы тяжести.

Состояніе газа будетъ, очевидно, стаціонарнымъ, если въ какомъ нибудь слоѣ мы въ каждый моментъ будемъ встрѣчать одно и то же число частицъ, обладающихъ данною скоростью; тогда, хотя бы частицы въ слоѣ непрерывно возобновлялись, свойства ихъ совокупности, одни доступныя наблюденію, не будутъ измѣняться.

Пусть въ извѣстный моментъ слой Q заключаетъ въ себѣ всѣ N частицъ, опредѣленныхъ формулою (1). Но онѣ скоро оставляютъ этотъ слой; чрезъ нѣкоторое время пусть онѣ помѣщаются въ слоѣ Q' и обладаютъ тамъ скоростями, составляющія коихъ u_1, v и w (вторая и третья остались безъ измѣненія); можно доказать, что толщина этого новаго слоя приблизительно равна прежней, dx, и что крайнія значенія составляющихъ скоростей по прежнему отличаются на du, dv и dw. Такимъ образомъ число частицъ, которыя въ данный моментъ, находятся въ слоѣ Q' и обладаютъ скоростями, лежащими между предѣлами u_1, v, w и u_1+du, $v+dv$, $w+dw$, опредѣляется формулою (1). Съ дру-

гой стороны если состояніе стаціонарно и слѣд. формула (1) примѣняется ко всякому моменту времени, то, замѣняя x чрезъ x_1 и u чрезъ u_1, мы получимъ то же число; такимъ образомъ мы имѣемъ

$$Ae^{-2ghx-h(u^2+v^2+w^2)}=Ae^{-2ghx_1-h(u_1^2+v^2+w^2)}.$$

Это такъ и должно быть, ибо подъ дѣйствіемъ силы тяжести частица, находясь на высотахъ x и x_1, обладаетъ скоростями u и u_1, удовлетворяющими соотношенію

$$2gx+u^2=2gx_1+u_1^2.$$

Вернемся теперь къ форм. (1). Вторая часть состоитъ изъ двухъ множителей, изъ коихъ одинъ зависитъ только отъ x, а второй только отъ u, v и w. Слѣдовательно когда измѣнится x, тогда числа частицъ, содержащихся въ отдѣльныхъ группахъ, различающихся скоростями, измѣняются въ томъ же отношеніи. Такимъ образомъ если составить статистику сперва частицамъ, заключающимся въ слоѣ Q, а затѣмъ частицамъ заключающимся въ слоѣ Q', то для различныхъ группъ мы найдемъ числа, отличающіяся на постоянный факторъ. Вообразимъ себѣ, что мы имѣемъ дѣло съ населеніемъ двухъ городовъ, и что на число жителей каждаго возраста перваго города приходится вдвое большее число жителей того же возраста во второмъ городѣ; тогда средній возрастъ въ обоихъ городахъ одинаковъ. Точно такимъ же образомъ мы можемъ заключить, что средняя скорость, а потому и средняя кинетическая энергія одинаковы на всѣхъ высотахъ нашего столба воздуха; слѣдовательно температура его не измѣняется отъ одного слоя до другого.

Что же касается плотности, то она, очевидно, пропорціональна множителю e^{-2ghx}, что согласно съ обыкновенною теоріею равновѣсія газа: это законъ, которымъ пользуются при барометрическомъ измѣреніи высотъ.

Конецъ 6-го тома.